


В. И. ВОЛОШИН
Л. И. ФЕДОРЧУК



# электро-музыкальные инструменты



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

*Выпуск 773*

В. И. ВОЛОШИН, Л. И. ФЕДОРЧУК

# ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1971

6Ф2.7
В 68
УДК 681.828



**Волошин В. И. и Федорчук Л. И.**

В 68 Электромузыкальные инструменты, М., «Энергия», 1971.

144 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 773).

Приведено описание устройств и методов, применяемых для получения музыкальных звуков с помощью электроники. Изложены физические основы электромузыки, способы генерации тонов, методы темброобразования и управления музыкальным звуком. Особое внимание уделено получению звука высокого музыкального качества. Подробно описаны практические схемы и конструкции электромузыкальных инструментов, в том числе серийно выпускаемых отечественной промышленностью.

Книга рассчитана на квалифицированных радиолюбителей, занимающихся конструированием электромузыкальных инструментов.

3-4-5
437-70

6Ф2.7

# ВВЕДЕНИЕ

Электрическими музыкальными инструментами (ЭМИ) называют инструменты, в которых при исполнении музыкальных произведений электрическая энергия преобразуется в звуковую. В большинстве ЭМИ для этой цели применяют различные электронные устройства — генераторы, усилители, модуляторы.

Первый электронный музыкальный инструмент, получивший практическое применение, был построен в 1921 г. в нашей стране. В честь его создателя, советского физика Л. С. Термена, этот инструмент с пространственным управлением высотой звука был назван «терменвокс». Терменвокс слушал В. И. Ленин; высоко оценив достоинства нового инструмента, он указал на необходимость продолжения работ в области электромузыки.

После создания терменвокса энтузиасты электромузыки — инженеры и радиолюбители в содружестве с музыкантами много и плодотворно работают в этой области. Появляются новые инструменты, совершенствуются их конструкции и схемные решения, расширяются исполнительские возможности, получают известность такие новые инструменты, как сонар, виолена, эмиритон, экводин. От пространственного управления звуком переходят к более удобному — грифовому, а затем к наиболее доступному — клавишному. Первый советский клавишный одноголосный ЭМИ — компанола был сконструирован И. Д. Симоновым в 1937 г. и неоднократно использовался в радиопередачах. После этого клавишное управление высотой тона было введено в эмиритоне и экводине.

Мы привыкли к тому, что фортепиано звучит только как фортепиано, кларнет только как кларнет и не иначе. Электрические же способы темброобразования уже сейчас позволяют создавать ЭМИ с любыми различными тембрами, особенно привлекательной в этом смысле следует считать возможность электрического синтеза новых тембров высокого музыкального качества. Кроме того, в сферу художественного творчества исполнителя может включаться управление пространственными характеристиками звука — реверберацией, объемностью, направлением звукоизлучения.

К достоинствам электромузыкальных инструментов следует также отнести их практически неограниченные возможности в смысле использования звуковых диапазонов по высоте и громкости.

Недостатки современных ЭМИ настолько значительны, что в ряде случаев препятствуют широкому внедрению их в музыкальную практику. К ним в первую очередь относятся малая надежность, низкая стабильность строя, «электрическая» окраска звучания. Однако в настоящее время есть все условия для создания ЭМИ высшего класса. Им может стать только такой электромузыкальный инструмент, который помимо высоких эксплуатационных качеств будет во всем подчинен воле исполнителя, ибо звучание можно считать высокохудожественным лишь при условии гибкого управле-

ния всеми параметрами звука: высотой, динамикой, тембром. Бурное развитие транзисторной техники, появление сверхминиатюрных радиодеталей и промышленное освоение твердых схем позволяют в ближайшие годы наладить выпуск ЭМИ, вес и габариты которых будут в основном определяться размерами клавиатур и удобством пользования инструментами.

За рубежом электромузыкальные инструменты получили очень большое распространение. Ряд специализированных фирм занимается исключительно производством и сбытом ЭМИ, преимущественно многоголосных — электроорганов. Наша промышленность приступила к серийному выпуску электроинструментов — это модели «Рэтаккорд», серия «Эстрадинов», «Романтика», «Меридиан», «Гамма», «Экводин», «Юность». Базой для создания этих инструментов послужили многолетние работы советских изобретателей — А. А. Володина, И. Д. Симонова, С. Г. Корсунского, А. А. Иванова, Е. А. Прохорова и др.

Можно надеяться, что совершенствование существующих конструкций, изучение иностранного опыта, содружество конструкторов и музыкантов позволят в ближайшем будущем создать электромузыкальные инструменты, удовлетворяющие самым высоким эксплуатационным и художественным требованиям.

Предлагаемая вниманию читателя книга посвящена описанию схем и методов для создания электромузыкальных инструментов, а также разбору конкретных конструкций электрических музыкальных инструментов, в том числе серийно выпускаемых нашей промышленностью. Основное внимание уделено транзисторным устройствам, как более экономичным и малогабаритным, а потому весьма перспективным.

Глава первая

# ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЗЫКАЛЬНОГО ЗВУКА

## 1. ВЫСОТА

Высота звука — такое его качество, по которому различаются между собой звуки одного и того же инструмента, воспроизводимые с одинаковой громкостью. Высота звука пропорциональна логарифму его частоты. Диапазон основных тонов музыкальных инструментов ограничен частотами от 16 до 4 000 *гц*.

Существующий ныне равномерно темперированный строй предусматривает деление всего диапазона инструмента на промежутки, граничные частоты которых относятся одна к другой как 2 : 1. Этот музыкальный интервал назван октавой, он служит единицей измерения диапазонов инструментов и певческого голоса.

Например, фортепиано чаще всего имеет диапазон $7\frac{1}{3}$ октавы, хороший певец может охватить диапазон в 2—3 октавы. Принято диа-

*Таблица 1*

| Интервал | Нота | Соотношение частот равномерно темперированного строя | Число полутонов |
|---|---|---|---|
| Прима | *до* | 1,000 | 0 |
| Малая секунда | *до—ре-бемоль* | 1,059 | 1 |
| Большая секунда | *до—ре* | 1,122 | 2 |
| Малая терция | *до—ми-бемоль* | 1,189 | 3 |
| Большая терция | *до—ми* | 1,260 | 4 |
| Кварта чистая | *до—фа* | 1,335 | 5 |
| Кварта увеличенная | *до—фа-диез* | 1,414 | 6 |
| Квинта | *до—соль* | 1,498 | 7 |
| Квинта увеличенная | *до—соль-диез* | 1,587 | 8 |
| Большая секста | *до—ля* | 1,681 | 9 |
| Малая септима | *до—си-бемоль* | 1,732 | 10 |
| Большая септима | *до—си* | 1,883 | 11 |
| Октава | *до—до* | 2,000 | 12 |

пазон инструмента отсчитывать относительно средней октавы фортепиано, которая называется первой и начинается звуком *до*, имеющим частоту 261,7 *гц*. Вниз следуют октавы: малая, большая, контроктава и субконтроктава, начинающаяся с частоты 16,3 *гц*; вверх — вторая, третья, четвертая и пятая (один звук).

Каждая октава разделена на 12 равных интервалов, соответствующих 12 клавишам октавы фортепиано, из которых семь белых и пять черных.

Частотный интервал между двумя соседними звуками октавы называется полутоном и соответствует изменению частоты примерно на 6%.

Для удобства отсчета отклонений высоты логарифм отношения частот, составляющих полутон, разделен на 100 равных частей; получающуюся логарифмическую единицу называют центом. Один цент составляет примерно 0,06% номинала частоты, т. е. интервал равен 0,01 темперированного полутона.

Минимальное изменение высоты тона, ощущаемое человеком, составляет приблизительно 6 центов. Эта величина может приниматься как исходная при выборе генераторов ЭМИ. По крайней мере весьма желательно, чтобы уход частот генераторов, вызываемый воздействием различных внешних факторов, не превышал этой величины [Л. 27].

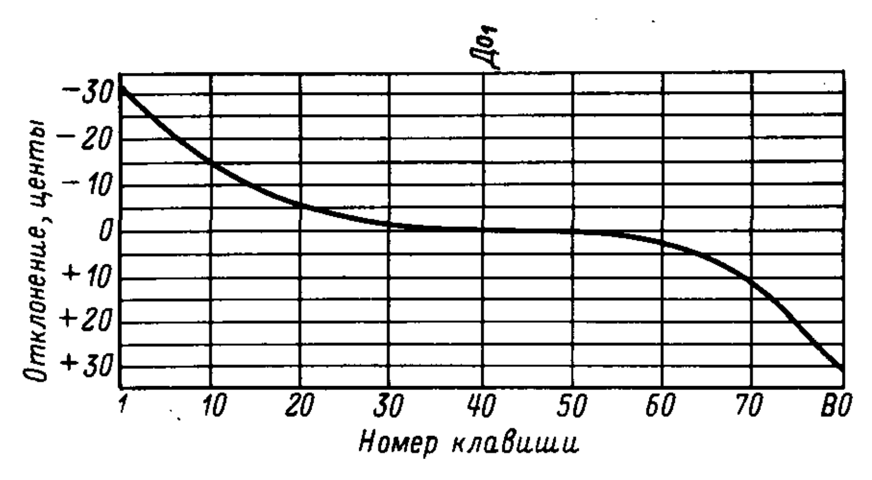



Рис. 1. Кривая настройки фортепиано (кривая Рэйлсбека).

Большое значение в музыке имеет интервал квинты, состоящий из семи полутонов (например, *до—соль*). Сведения о других интервалах приведены в табл. 1.

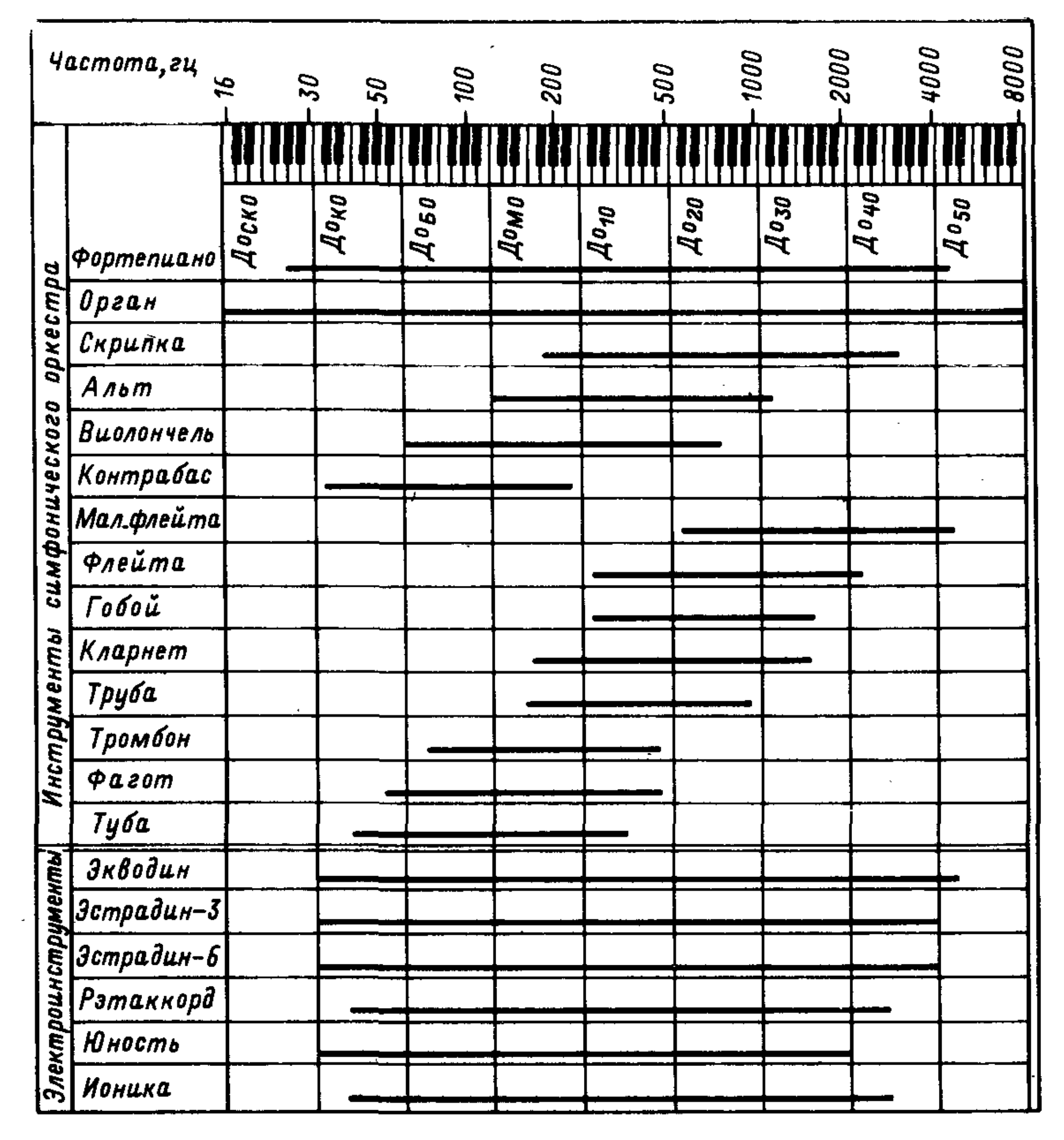



Рис. 2. Диапазоны основных тонов некоторых музыкальных инструментов.

*Таблица 2*

| Октава | *До* | *До-диез* | *Ре* | *Ре-диез* | *Ми* | *Фа* | *Фа-диез* | *Соль* | *Соль-диез* | *Ля* | *Ля-диез* | *Си* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Субконтроктава | 16,351 | 17,323 | 18,354 | 19,420 | 20,601 | 21,826 | 23,124 | 24,494 | 25,956 | 27,5 | 29,135 | 30,867 |
| Контроктава | 32,703 | 34,647 | 36,708 | 38,840 | 41,203 | 43,653 | 46,249 | 48,999 | 51,913 | 55 | 58,270 | 61,735 |
| Большая | 65,406 | 69,295 | 73,416 | 77,481 | 82,406 | 87,307 | 92,498 | 97,998 | 103,826 | 110 | 116,540 | 123,470 |
| Малая | 130,812 | 138,591 | 146,832 | 155,563 | 164,813 | 174,614 | 184,997 | 195,997 | 207,652 | 220 | 233,081 | 246,941 |
| Первая | 261,625 | 277,122 | 293,664 | 311,726 | 329,627 | 349,228 | 369,994 | 391,995 | 415,304 | 440 | 466,163 | 493,883 |
| Вторая | 523,251 | 554,365 | 587,329 | 622,253 | 659,255 | 693,456 | 739,988 | 783,991 | 830,009 | 880 | 932,327 | 987,766 |
| Третья | 1046,502 | 1108,730 | 1174,659 | 1244,507 | 1318,510 | 1396,912 | 1479,976 | 1567,952 | 1661,218 | 1 760 | 1864,654 | 1975,522 |
| Четвертая | 2093,104 | 2217,460 | 2349,318 | 2489,014 | 2637,040 | 2793,824 | 2959,952 | 3135,904 | 3322,436 | 3 520 | 3729,308 | 3951,064 |
| Пятая | 4186,008 | 4434,920 | 4698,626 | 4978,028 | 5274,040 | 5587,648 | 5919,904 | 6270,928 | 6644,872 | 7 040 | 7558,616 | 7902,128 |

Ряд частот, соответствующих тонам равномерно темперированного строя, описан в ГОСТ. В соответствии с ОСТ ВКС-7710 должны настраиваться все музыкальные инструменты (табл. 2). Однако из-за физиологических особенностей слуха человека настройку ведут так, чтобы интервал октавы несколько расширялся по сравнению с математически точной октавой, при этом характерна тенденция к занижению высоты нижних тонов и завышению верхних. Отклонение высоты тона по клавиатуре фортепиано может достигать ±30 центов, при этом инструмент не кажется расстроенным и, по мнению многих специалистов, звучит лучше настроенного математически точно. Концепция настройки музыкальных инструментов с поправкой на «физиологию слуха» в настоящее время спорна. Характер кривой настройки фортепиано (рис. 1) объясняется трудностью настройки крайних тонов инструмента, поэтому для получения чистой настройки рекомендуется пользоваться интервалом в две октавы. Это позволяет избежать в высшем регистре несколько завышениого строя, что у настройщиков часто получается подсознательно [Л. 17].

В ЭМИ получение большого звукового диапазона обычно не представляет больших затруднений. На рис. 2 приведены сравнительные данные диапазонов различных музыкальных инструментов, в том числе некоторых ЭМИ.

Часто диапазон ЭМИ, особенно многоголосных, разбивают на регистры. Обозначения регистров заимствованы от органов, где регистр обозначается в соответствии с высотой используемых в нем труб, измеренной в футах.

Так, регистр органа, начинающийся с тона *до* контроктавы, обозначается 16*ft* или 16′. Регистр, все тона которого выше на октаву, как правило, имеет трубы вдвое меньших размеров и обозначается 8′. При дальнейшем повышении регистров на октаву получаем регистры 4′, 2′ и 1′.

Известны также квинтовые регистры $\left(2\frac{2'}{3}\right)$ и терцовые $\left(1\frac{3'}{5}\right)$, сдвиг которых по высоте относительно основных регистров равен квинте или терции. Регистровая структура электроорганов предусматривает зачастую совместное использование различных регистров, что, вообще говоря, необходимо для имитации органного звучания.

## 2. ГРОМКОСТЬ

Громкостью звука называют такое его качество, которое определяет силу звукового ощущения, вызываемого у слушателя. Громкость звука можно оценить количеством децибел, на которое уровень заданного звука превышает уровень звука, соответствующего минимальному пределу слышимости. За нулевой уровень принята сила звука в $2 \cdot 10^{-5}$ *н/м²* на частоте 1 000 *гц*, она называется порогом слышимости. Болевым пределом называется такая громкость звука, которая начинает вызывать болевое ощущение в ухе. Это происходит при уровне громкости около 120 *дб*. На рис. 3 приведены зависимости порога слышимости и болевого предела от частоты. Как видно из рисунка, музыкальные звуки по громкости занимают промежуточное положение между уровнями 20 и 100 *дб*. В соответствии с музыкальной терминологией музыкальный звук имеет ряд динамических градаций от пиано-пианиссимо до фортефортиссимо. Соответствующие этим оттенкам уровни громкости приведены в табл. 3.



*Таблица 3*

| Динамические оттенки | Уровень громкости, *дб* |
|---|---|
| Пиано-пианиссимо . . . . | 20—30 |
| Пианиссимо . . . . . . | 30—40 |
| Пиано . . . . . . . . | 40—50 |
| Меццо-пиано . . . . . . | 50—60 |
| Меццо-форте . . . . . . | 60—70 |
| Форте . . . . . . . . | 70—80 |
| Фортиссимо . . . . . . | 80—90 |
| Форте-фортиссимо . . . . | 90—100 |

Следует отметить, что музыканта будет удовлетворять такой ЭМИ, на котором имеется устройство регулирования громкости, позволяющее получать все эти градации. Хорошим может считаться ЭМИ с динамическим диапазоном 60 *дб*; ЭМИ, предназначенные для игры в домашних условиях, могут иметь динамический диапазон в пределах 25—60 *дб*.

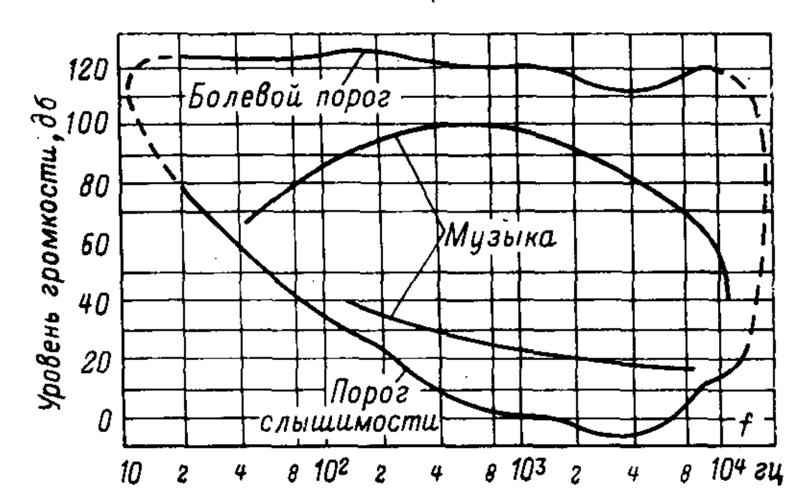



Рис. 3. Действующий диапазон уха человека.

Особенность человеческого слуха состоит в том, что с изменением силы звука субъективное ощущение громкости изменяется пропорционально не силе звука, а логарифму ее изменения. По этой причине человеческое ухо способно различать звуки, отличающиеся по силе в $10^{14}$ раз. Минимальное изменение интенсивности звука, отмечаемое нашим ухом, примерно соответствует изменению силы звука на 25%, что приблизительно равно изменению громкости на 1 *дб*. Наибольшую чувствительность ухо имеет в диапазоне частот 1 000—5 000 *гц*. Характер изменения чувствительности уха от частоты показывает, насколько важно правильно сконструировать узел регулирования громкости ЭМИ, так как изменение громкости сложного музыкального звука вызывает неравноценное изменение громкости различных его частотных составляющих. Поэтому

*Таблица 4*

| Инструмент | Пиковая мощность, *вт* | Инструмент | Пиковая мощность, *вт* |
|---|---|---|---|
| Большой оркестр | 70 | Саксофон бас | 0,3 |
| Большой барабан | 25 | Туба | 0,2 |
| Труба органа | 13 | Контрабас | 0,16 |
| Малый барабан | 12 | Малая флейта | 0,08 |
| Тромбон | 6,0 | Кларнет | 0,05 |
| Фортепиано | 0,4 | Валторна | 0,05 |
| Труба | 0,3 | Треугольник | 0,05 |

следует применять различные схемы тонкомпенсации, т. е. подъема частотной характеристики тракта электромузыкального инструмента на низших частотах при уменьшении уровня воспроизведения. Точно так же для получения впечатления линейного нарастания или спадания громкости надо применять регуляторы с логарифмической зависимостью сопротивления от угла поворота ползунка (потенциометры типа В).

Очень важно правильно выбрать мощность тракта звуковоспроизведения инструмента. Особенно важно это требование при использовании ЭМИ совместно с обычными инструментами, средняя акустическая мощность которых колеблется в пределах от нескольких микроватт до 20 *вт* (литавры).

Значения пиковых мощностей различных инструментов приведены в табл. 4.

## 3. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Музыкальный звук, как правило, — звук сложный. Несмотря на строго определенную высоту, энергия его распределена по всему звуковому диапазону и находит проявление в обертонах (гармониках).

Интонационная определенность, т. е. определенность ощущения высоты звука, на большом участке диапазона инструмента зависит от основного, наиболее низкого тона; обертоны, как правило, имеют частоты в целое число раз выше частоты основного тона. В басовом регистре порог ощущения звука по высоте резко падает, поэтому интонационная определенность на басах создается в результате синтезирования слухом суммы всех слышимых обертонов. При воспроизведении звука электрическими средствами обертоны получаются благодаря присутствию в спектре воспроизводимых электрических колебаний гармонических составляющих (гармоник).

Спектральный состав музыкального звука в основном и определяет его тембр. Тембр музыкального инструмента зависит как от имеющихся в звуке определенных обертонов, так и от их количественного соотношения. Частоты обертонов обычно гармоничны основному тону; иногда они более или менее точно совпадают с высшими тонами по музыкальной шкале частот. Спектры некоторых звуков наиболее распространенных музыкальных инструментов приведены на рис. 4. Мягкость и сочность тембру придает присут-



ствие в спектре звука первых пяти-шести гармоннк. Сосредоточение энергии гармоник (обертонов) в диапазоне 1 000—1 500 *гц* сообщает тембру инструмента носовой характер, гнусавость; если энергия обертонов подчеркнута в области 3 000 *гц* — звук приобретает звонкость, хрустальность. Обертоны выше шестого делают звук резким; особенно резкие, «трескучие» тембры получаются при ослабленных нижних и чрезмерно усиленных верхних обертонах.

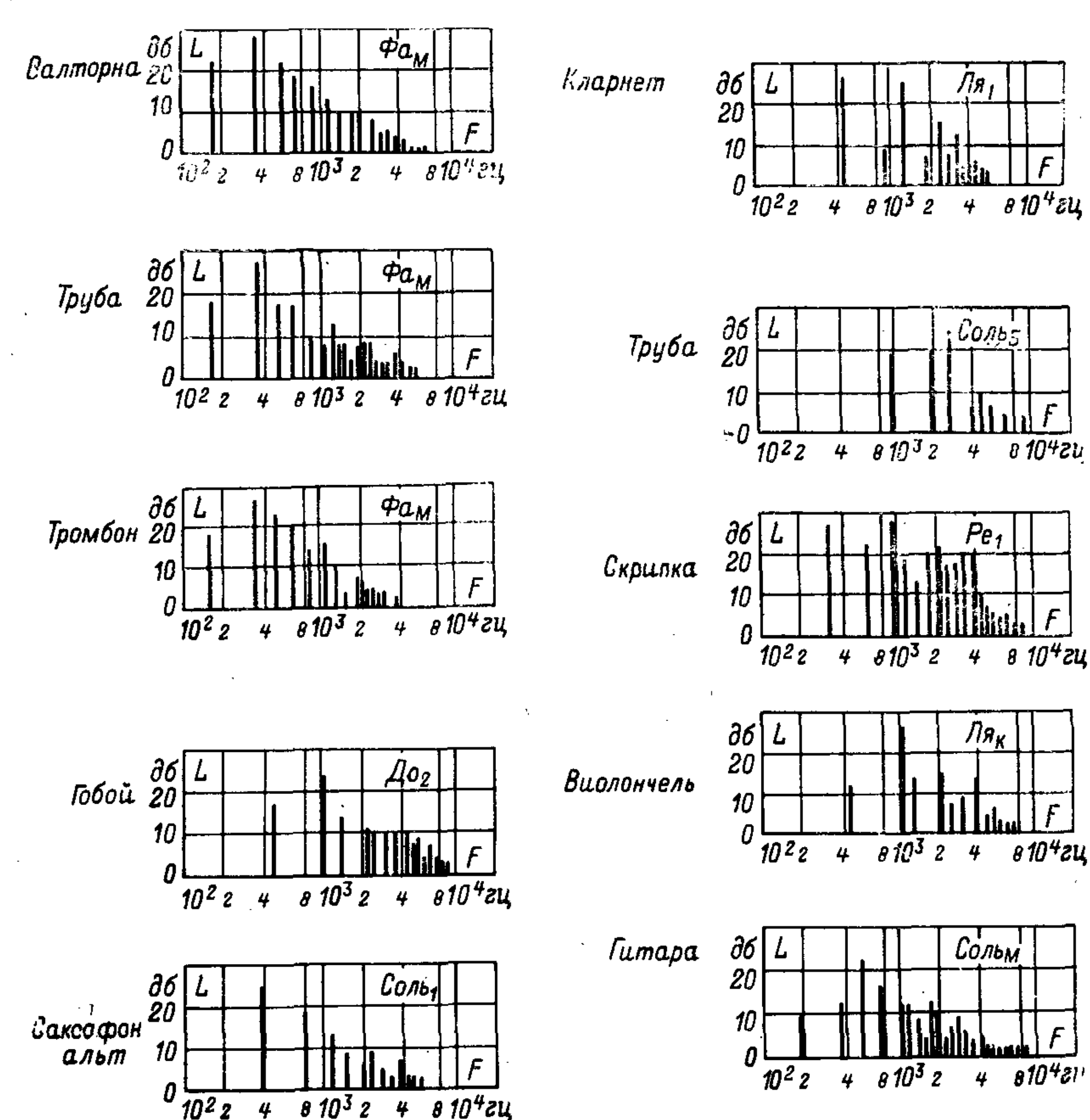



Рис. 4. Спектры наиболее распространенных музыкальных инструментов.

При всех прочих равных условиях спектральная структура музыкального звука обязательно должна иметь значительный по энергии комплекс нижних гармоник. Это усиливает интонационную определенность звука и, кроме того, значительно повышает его ощутимую громкость. Из этого не следует, что высшие гармоники вообще не нужны для оформления тембра звука, однако их суммарная энергия не должна преобладать в спектре данного тембра.

Количественные соотношения отдельных гармоник спектра данного тембра должны иметь различные значения для разных участков звукового диапазона инструмента. Как правило, в верхнем регистре преобладает первая гармоника, а в нижнем основная доля энергии приходится на более высокие гармоники. Наиболее бедны гармониками флейта и флейтовые трубы органа. Форма их звуковых колебаний очень близка к синусоиде. Отсутствие или подавленность некоторых номеров гармоник придают тембру особый характер. Такова, например, специфичность тембра кларнета, обусловленная подавленными четными гармониками. Наоборот, присутствие в спектре сильных второй и четвертой гармоник придают тембру светлость, что характерно для звучания трубы, саксофона и струнных инструментов смычковой группы. Если внимательно рассмотреть спектры смычковых инструментов, можно заметить присущие им две особенности, которые и делают их тембры индивидуальными, а именно: в области «гнусавости» (1 500 *гц*) наблюдается ослабление энергии гармоники и, напротив, в области «серебристости» (3 500 *гц*) ясно видно усиление соответствующих гармоник.

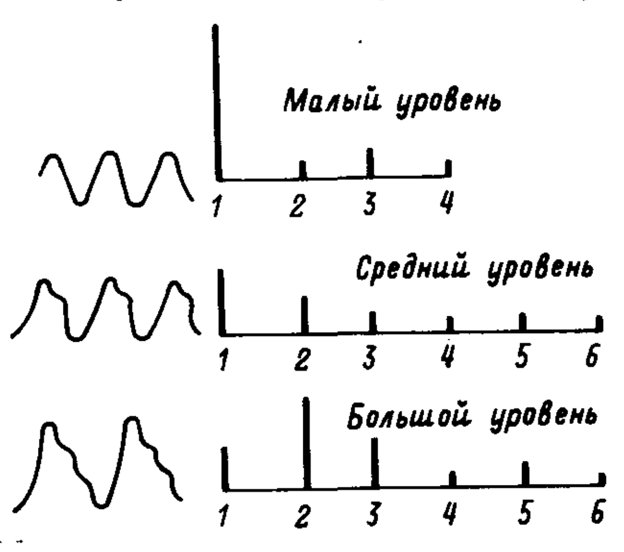



Рис. 5. Видоизменения спектра флейты.

Эффект усиления гармоник в определенных областях объясняет теория формант. Формантой называется призвук, почти постоянный по частоте и характерный для всех тонов данного инструмента. Присутствие формант у музыкальных инструментов объясняется тем, что при любом устройстве и форме инструмента обязательными конструктивными элементами его должны быть объемные резонаторы (корпус, дека и пр.), резонансные частоты которых соответствуют формантам. Естественно, что при попадании гармоник в полосу пропускания резонатора вследствие явления резонанса будет происходить их усиление; за пределами полосы пропускания гармоники будут подавлены. Работы акустиков позволили выяснить формантные области, характерные для механических музыкальных систем (табл. 5). Их изучение применительно к электромузыкальным инструментам полезно, так как тембр последних часто формируется при прохождении электрических сигналов через модели резонаторов — формантные цепи.

Спектральные характеристики музыкального звука находятся в тесной связи с его громкостными характеристиками. Звуки, воспроизводимые на одном и том же инструменте с разными уровнями громкости, имеют отличающиеся друг от друга спектры. На рис. 5 приведены формы звуковых колебаний и соответствующие им спектры звуков флейты при трех различных уровнях громкости. Как видно из рисунка, с повышением громкости тембр флейты становится более светлым вследствие усиления второй и ослабления первой гармоник [Л. 14].



Так как частоты гармонических обертонов относятся между собой как $1:2:3:4$ и т. д., то богатый обертонами звук можно представить как одновременно взятое на рояле созвучие: основной тон — октава + квинта + терция и т. д. и, наконец, все расположенные выше тоны, между которыми интервалы сокращаются до малой секунды и, естественно — неконсонантны. Поэтому в хорошем инструменте для получения теплого музыкального звука обертоны выше седьмого должны быть по возможности подавлены, так как музыкальные интервалы между обертонами исчерпываются седьмым обертоном. Наоборот, звук ощущается как неприятный, если с увеличением порядкового номера обертона интенсивность его уменьшается несильно.

*Таблица 5*

| Инструмент | Резонансные частоты формантной области, *гц* |
|---|---|
| Туба | 100—200 |
| Баритон | 125—400 |
| Валторна | 200—500 |
| Тромбон | 300—900 |
| Труба | 800—1 750 |
| Саксофон | 350—900 |
| Гобой | 800—1 500 |
| Фагот | 300—900 |
| Кларнет | 250—600 |
| Голос человека | 400—600 и 2 200 — 2 500 |

В ЭМИ часто применяют метод формирования тембра, заключающийся в синтезе звука из частных тонов, причем в некоторых инструментах для этого используют темперированные тоны, частоты которых мало отличаются от частот натуральных обертонов. По такому принципу работает, например, электроорган Хэммонда. В подобных инструментах конструкторы, как правило, отказываются от использования 7, 11 и 13 темперированных обертонов, так как они могут испортить качество звучания.

При конструировании электромузыкальных инструментов ни в коем случае нельзя пренебрегать приведенными рассуждениями, так как без сознательного учета качественного и количественного состава спектра электрического сигнала, служащего для возбуждения блока тембра, без правильного выбора частотных характеристик тембровой части создать полноценный инструмент невозможно.

## 4. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Электромузыкальные инструменты дают возможность из электрических колебаний синтезировать довольно точно спектры всех существующих инструментов и человеческого голоса. Однако во многих ЭМИ даже при совершенном копировании спектров не удается добиться точного сходства с естественным звучанием обычных музыкальных инструментов. Не поддаются имитации, например, звуки смычковых инструментов, голоса певцов, хотя их спектры воспроизводятся с высокой точностью. Кроме того, из-за применения контактов для управления переменным напряжением звуковой частоты звук ЭМИ приобретает характерный электрический «акцент». Даже при применении средств, уничтожающих этот «акцент», те тембры, которые при первом прослушивании кажутся удачными, при постоянном употреблении надоедают, утомляют слух. Многие музыканты, имеющие дело с ЭМИ, заявляют, что звук их «давит на уши», несмотря на тембровое богатство. Тембры ЭМИ по своим спектрам совершенно различны, однако вначале

они начинают утомлять слух едва уловимой монотонностью, затем вообще становятся неприятными из-за своего однообразия.

Причина этого кроется в том, что тембр инструмента зависит не только от спектра. Большое значение в его формировании имеют переходные процессы — нарастание звука (атака), изменения или текучесть спектра во время звучания и спад звука (затухание). Тщательные исследования показали, что для получения высокого качества звучания прежде всего должно выполняться условие передачи частотного диапазона от 50 до 15 000 *гц*. Однако даже первоклассное воспроизведение длительных тонов не дает необходимого эффекта, если кратковременные звуковые процессы установления звука и затухания его передаются недостаточно точно.

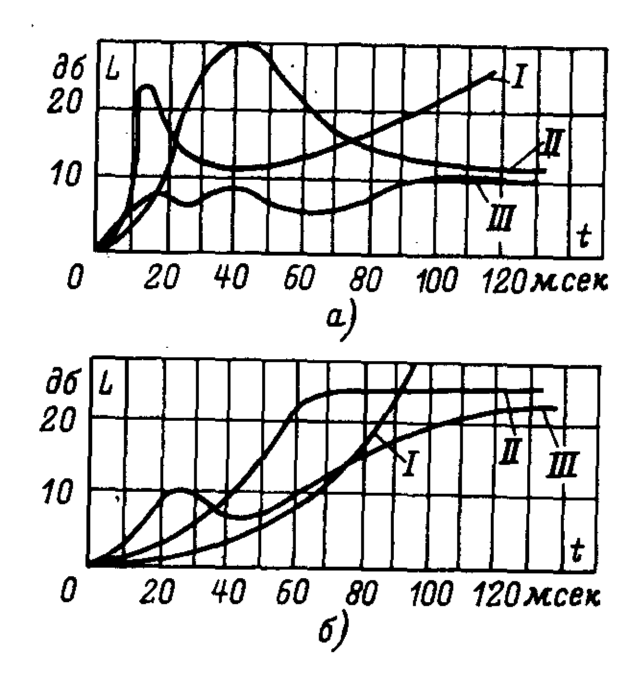



Рис. 6. Кривые установления звучания трубы (*а*) и скрипки (*б*) при различных приемах исполнения.

Говоря о спектре какого-либо звука, необходимо помнить, что имеется в виду результат анализа некоторого одного кратковременного цикла колебаний. Спектр же музыкального звука на протяжении всего звучания инструмента непрерывно изменяется, меняя состав обертонов и их амплитуды. Наиболее сильные изменения происходят со спектром в момент начальной фазы колебаний — атаки. Даже на слух можно проанализировать чем отличаются звуки фортепиано и, например, скрипки. Фортепиано присуще резкое нарастание силы звука, за которым сразу следует спад, затухание, в то же время мягкое звучание скрипки достигается путем довольно продолжительной атаки. Время нарастания звука меняется от инструмента к инструменту, а также в соответствии с высотой звука и порядком обертонов. У большинства музыкальных инструментов время атаки колеблется от 20 до 100 *мсек*; для больших органных труб вследствие их инерционности время нарастания звука может достигать 1 *сек* [Л. 30].

Переходные процессы (атака и затухание) в основном определяют впечатление расстояния, пространственной объемности и глубины звучания. Кроме того, они оказывают большое влияние на такое важное качество музыкального звука как «носкость» или полетность. Вопросам «носкости» звука посвящено много работ советских и зарубежных специалистов. Как показали исследования акустической лаборатории Московской консерватории, это качество звука зависит в первую очередь от так называемой «вокальной» форманты, диапазон частот которой лежит в области 2 500—3 000 *гц*. Однако этого недостаточно. Чтобы звук был «носким», его затухание на низких частотах должно быть возможно более продолжительным [Л. 30]. О том, насколько важны процессы нарастания и затухания при восприятии музыки, показывает эксперимент, когда музыкантам предлагалось послушать записанное на магнитную ленту звучание обычных инструментов, у которых при записи искусственно уничтожался период нарастания звука. Эксперты часто ошибались, а иногда и вовсе не узнавали звуков даже своего собственного инструмента.



На рис. 6 приведены кривые нарастания звучания трубы и скрипки в зависимости от времени при различных приемах исполнения, а на рис. 7 приведена кривая затухания звука гитары. Кривая нарастания и затухания звука фортепиано совпадает во многих точках с кривой, приведенной на рис. 7.

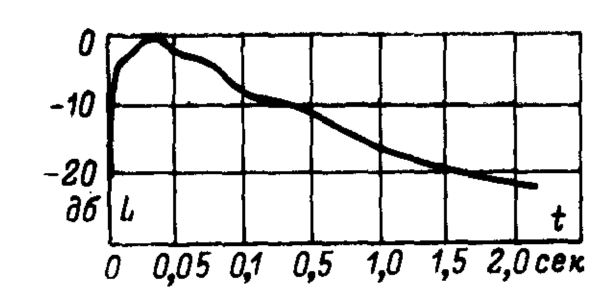



Рис. 7. Кривая затухания звука гитары.

На рис. 8 показана осциллограмма установления звучания органной трубы, причем кроме осциллограммы самого сигнала параллельно приведены осциллограммы того же сигнала, прошедшего октавные полосовые фильтры. Вид этих осциллограмм свидетельствует об еще одной очень важной характеристике атаки звука (различном времени установления для различных обертонов). Как видно из рисунка, вначале происходит всплеск звуковой энергии в диапазоне частот 1 200—2 400 *гц*. Затем начинают звучать обертоны в диапазонах 600—1 200 *гц* и 300—600 *гц*, и лишь после этого начинается процесс установления основного тона [Л. 30]. Естественно, что очередность установления обертонов и скорость их атаки индивидуальны для каждого инструмента и вместе с тем весьма важны для создания полной тембровой картины. Если наблюдать на экране осциллографа колебания какого-либо механического музыкального инструмента, то даже по окончании периода установления звука не видно четкой синхронизированной картины, к которой мы привыкли, наблюдая автоколебания звуковых генераторов. Осциллограмма звука будет все время изменяться, «жить», что свидетельствует о текучести спектра, об изменении относительных амплитуд и фаз обертонов. Высота и громкость звука также не остаются постоянными, а периодически изменяются с инфразвуковой частотой. Такие периодические изменения всех характеристик звуковых колебаний называют *вибрато*.

Не случайно пианисты и скрипачи говорят об «отзывчивости клавиатуры», о «чуткости скрипки». Эти термины как нельзя лучше поясняют задачи, стоящие перед конструкторами электромузыкальных инструментов. Необходимо создавать звук «живой», и это возможно только при применении средств, позволяющих управлять всеми звуковыми процессами. Путь решения этой проблемы — передача в пальцы исполнителя всех нитей, ведущих к структуре электронного звука. Это прежде всего пальцевое управление громкостью, тембром, вибрацией, процессами установления звука в широких пределах, использование в разумных рамках шумов для обогащения звука. Современный уровень развития техники дает конструкторам многочисленные средства для решения этой проблемы.

Нельзя забывать и о чистоте звука, которая может быть получена при крайне малом уровне комбинационных искажений.

Такие искажения, называемые интермодуляционными, появляются вследствие биений между частотами нескольких звучащих одновременно звуков. В результате биений получается ряд суммарных и разностных тонов, из которых наиболее опасны низкочастотные, маскирующие аккорды и загрязняющие звучание инструмента. Уровень комбинационных искажений определяется нелинейностью трак-

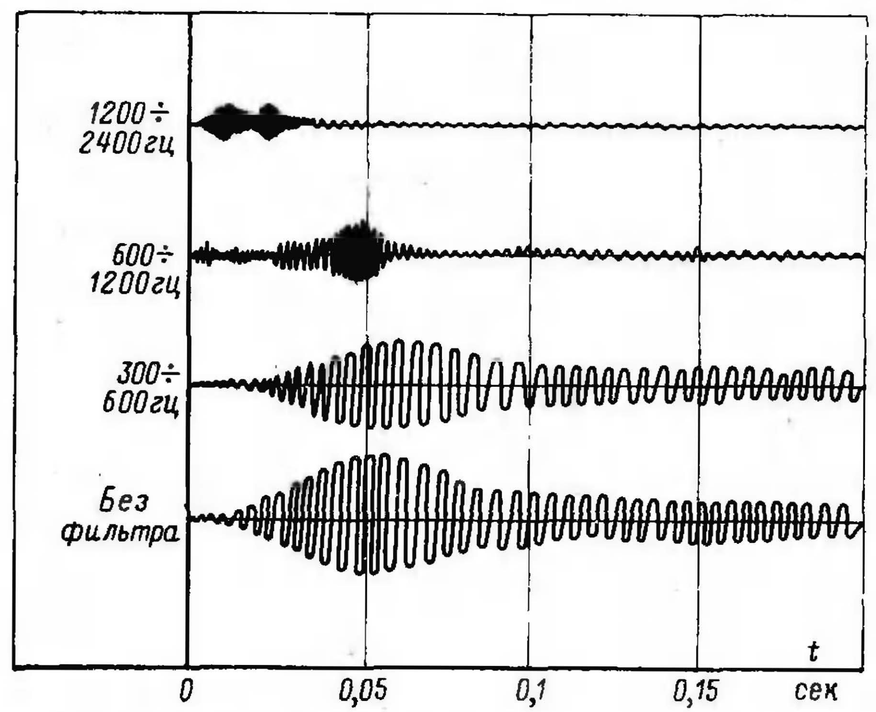



Рис. 8. Установление звучания органной трубы.

та воспроизведения, но даже при очень высокой линейности усилителя (коэффициент нелинейных искажений 0,5—1%) этот уровень еще заметен. Радикальным средством устранения биений может быть применение многоканальных систем усиления. С другой стороны, замечено, что даже неглубокое вибрато значительно снижает ощутимость разностных тонов. Не так заметны комбинационные искажения и при затухающем характере звуков инструментов, так как человеческое ухо не успевает услышать кратковременный процесс биений. Эти средства следует применять в многоголосных ЭМИ.

## Глава вторая

# СПОСОБЫ ГЕНЕРАЦИИ ТОНОВ

## 5. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

По принципу действия все существующие электрические музыкальные инструменты подразделяются на две большие, значительно отличающиеся друг от друга группы, — электромеханические, в которых для получения электрических колебаний звуковых частот используются разнообразные электромеханические преобразователи, и электронные, в которых звуковые колебания получаются с помощью электронных (ламповых или полупроводниковых) генераторов звуковых либо ультразвуковых частот.



К электромеханическим музыкальным инструментам принадлежат инструменты класса электроорганов с электромеханическими генераторами. Они представляют собой совершенно оригинальные устройства. Характерный представитель — ставший уже классическим орган Хэммонда (США). В нем использованы электромагнитные генераторы. Колебания, вырабатываемые ими, усиливаются и определенным образом синтезируются [Л. 12].

К электромагнитным инструментам относятся также язычковые инструменты, возбуждаемые так называемым «магнитным щипком».



Рис. 9. Мелодический электронный инструмент «Романтика».

Известно, например, что позывные Московского радио проигрываются на автоматическом электроинструменте конструкции С. Г. Корсунского и И. Д. Симонова. В нем при помощи магнитного щипка приводятся в движение специальные язычки, колебания которых преобразуются затем в электрические электромагнитными звукоснимателями [Л. 33].

Из электростатических инструментов известны орган Вурлицера (США), в котором электрические колебания получаются путем изменения емкости между колеблющимся под действием постоянного воздушного потока язычком и электродом, связанным с сеткой электронной лампы, и орган Комптона (Англия), в котором роль емкостных генераторов выполняют вращающиеся массивные металлические диски с прорезями [Л. 15].

В фотоэлектрических инструментах применяют полупрозрачные диски или барабаны с нанесенными на них фонограммами, определяющими частоту и форму колебаний, воспринимаемых чувствительными фотоэлементами.

Наиболее широкое распространение получили электронные музыкальные инструменты. В настоящее время сложилась традиция разделять электронные инструменты на одноголосные и многоголосные (электроорганы). В отличие от многоголосных на одноголосных инструментах невозможна игра аккордами.

Ограниченность возможностей одноголосных ЭМИ нельзя рассматривать как недостаток, так как все духовые инструменты (медные и деревянные) симфонического оркестра одноголосны, поэтому одноголосие музыкального инструмента лишь определяет сферу его использования; в то же время стоимость, вес и габариты одноголосных инструментов по сравнению с электроорганами незначительны, что и привело к созданию одноголосных моделей как в СССР, так и за рубежом. На рис. 19 показан один из отечественных одноголосных ЭМИ. Разумеется, некоторые имитационные возможности одноголосных ЭМИ способны обогатить любой ансамбль, в котором по той или иной причине отсутствуют необходимые инструменты.

Одноголосные электронные инструменты подразделяют на три вида в соответствии со способом звукоизвлечения.

Первый из созданных электронных музыкальных инструментов терменвокс был устроен так, что высота и громкость звука изменялись в пространстве между исполнителем и инструментом. Так, вследствие изменения емкости между рукой музыканта и специальным электродом, менялась частота задающего генератора. Впоследствии этот неудобный, хотя и очень эффектный (зрительно) способ игры был заменен грифовым, как более привычным для исполнителей на струнных грифовых инструментах. Такими были «сонар» Ананьева, «виолена» Гурова и Волынкина, «эмиритон» Иванова, «экводин» Володина. Позже грифовый способ игры уступил место наиболее простому и доступному — клавишному («компанола» Симонова). Некоторое время существовали инструменты, в которых имелись одновременно и гриф и клавиатура («эмиритон», «экводин»).

В настоящее время в СССР выпускают только клавишные одноголосные ЭМИ «Экводин В-11» и «Эстрадин-3». Из зарубежных коммерческих моделей известны «Мультимоника» (ФРГ) [Л. 16], «Соловокс» (США), «Клавиолин» (Франция) [Л. 15] и другие.

Многоголосные инструменты проще разделить по построению их блок-схем. К первому типу следует отнести инструменты, строящиеся по принципу «задающие генераторы—делители частоты». Такие ЭМИ обычно содержат ряд стабильных задающих генераторов (чаще всего 12 — по одному для каждого полутона высшей октавы инструмента). Поскольку частоты одноименных нот в лежащих ниже октавах имеют значения вдвое, вчетверо и т. д. ниже высших, возможно получать все нижние тона последовательным делением частот задающих генераторов.

Такая блок-схема очень удобна тем, что настройка всего инструмента заключается только в настройке полутонов высшей октавы звукового диапазона. Однако в этом случае интервал октавы получается математически точным, поэтому настроить инструмент с учетом физиологических особенностей слуха невозможно.



Иногда в радиолюбительских конструкциях применяют всего семь задающих генераторов; недостающие тоны получаются делением частоты задающих генераторов на три [Л. 3]. Следует предупредить, что строй такого инструмента будет фальшивым, так как подобное упрощение нарушает темперацию. По принципу «задающие генераторы — делители частоты» построено большинство промышленных и радиолюбительских конструкций. Таковы, например, «Кристадин» и «Электронный гармониум», построенные во ВНИИРТ. В настоящее время промышленность выпускает электроорганы «Рэтаккорд», «Юность», «Эстрадин-6» и «Эстрадин-3М», относящиеся к этому классу инструментов (рис. 10). Из зарубежных известны органы Бэлдвина, Миншелла, Лоури, «Ионика» и др.



Рис. 10. Многоголосный ЭМИ «Меридиан» («Эстрадин-6»).

Ко второму классу относятся электроорганы, содержащие отдельные стабильные генераторы для каждого звука инструмента, которые начинают работать при нажатии на клавиши и прекращают генерацию после снятия пальцев с клавишей. Эти инструменты более родственны духовому органу, чем все ЭМИ первого класса и имеют перед ними ряд преимуществ, в том числе возможность настройки с учетом физиологии слуха, однако они очень дороги, особенно при многоклавиатурной системе с большим количеством регистров. Таковы инструменты «Консоната», органы Аллена и Гулбрансена (США) [Л. 15].

Третий класс инструментов объединяет упрощенные конструкции электроорганов. Появление таких инструментов вызвано стремлением удешевить многоголосный ЭМИ, избежать большого количества источников электрических колебаний. Один из способов такого упрощения — использование одного генератора для воспроизведения двух—трех смежных нот, обычно диссонирующих (например, *до, до-диез* и *ре*). Средн этих инструментов встречаются довольно остроумные, оригинальные конструкции. Однако в настоящее время, когда в музыкальной практике очень часто используются диссонирующие созвучия, эти инструменты не могут удовлетворить всем требованиям музыкантов и поэтому строятся только радиолюбнтелями.

Особняком в группе электронных инструментов стоят шумовые и ритмические инструменты, в которых используются различные шумы и непериодические импульсные процессы, соответствующим образом отфильтрованные и подвергшиеся определенной манипуляции. Большую популярность в свое время завоевал советский ЭМИ этого класса «Шумофон» И. Д. Симонова, воспроизводивший мелодии, как бы напеваемые ветром, бой барабанов и многие другие шумовые эффекты, широко применяемые для кино, радио и телепередач, для оформления театральных постановок и др. [Л. 26].

Приведенная классификация ЭМИ имеет довольно общий характер, она не учитывает более подробного деления инструментов по принципу образования тембра, по характеру атаки и затухания и пр. Все эти подробности учтены непосредственно при описании способов управления звуком в ЭМИ.

В последнее время в нашей стране наметилась тенденция к созданию инструментов, приближающихся к классическим и народным, при этом большое внимание уделяется вопросу преемственности техники исполнения и музыкальной литературы. Это трудный путь, одиако благодарный по той причине, что наиболее распространенные инструменты — фортепиано, баян и аккордеон — еще не имеют своих электронных аналогов. Электронное фортепнано должно быть легче и меньше обычного, а электробаян при унисонном эффекте и басовой клавиатуре, подобной кнопочной клавиатуре обычного баяна, может стать поистине народным инструментом с большими тембровыми и выразительными возможностями.

## 6. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Электромеханические генераторы в настоящее время применяют для электромузыки редко. Это можно объяснить громоздкостью их и необходимостью большой точности изготовления. Однако ряд преимуществ этих генераторов перед электронными придает им иеоспоримую ценность. История электромузыки начиналась именно с электромеханических генераторов еще тогда, когда электронная лампа ие была известна. Первые сведения по применению электромеханических генераторов восходят к 1838 г., когда швейцарский изобретатель Деллезен опубликовал работу «Новый эксперимент в создании музыкальных тонов», в которой приводилось описание способа получения музыкального тона при взаимодействии электромагнита и фигурного железного колеса [Л. 14].

Во многих случаях электромеханические генераторы служат источниками первичных простых колебаний, из которых путем сложения их в дозируемых соотношениях формируются затем звуки определенных тембров.



Другие системы генераторов сразу вырабатывают электрические колебания сложной формы, которые преобразуются в темброблоке, имеющем необходимую частотную характеристику. Это вызваио тем, что некоторые конструкторы считают необходимым широко варьировать тембр инструмента с тем, чтобы полностью исчерпать его возможности; другие же, напротив, предпочитают иметь ограниченное число окончательно оформленных тембров определенного музыкального качества.

Электромагнитные генераторы представляют собой системы, в которых напряжение звуковой частоты возникает от изменения параметров магнитного поля.

В 1897 г. англичанин Кахилл запатентовал ЭМИ, в котором использовались громоздкие электромагнитные генераторы с приводом от электродвигателей. Практически реализованный инструмент весил около 200 *т* и был применен для передачи музыки абонентам телефонной сети, так как громкоговорящих электроакустических устройств тогда еще не существовало.

В 1934 г. фирмой Хэммонда (Чикаго) был выпущен первый электромеханический орган, получивший мировую известность. В настоящее время эта фирма выпускает более 16 моделей электроинструментов с одними и теми же генераторами [Л. 14]. Для получения электрических колебаний в них применяют стальные диски *1* волнообразного профиля (рис. 11), вращающиеся на валу. В непосредственной близости от диска расположен постоянный магнит *2* длиной около 100 *мм*, имеющий приспособление для осевого перемещения и крепления. На магнит установлена катушка *3*. Вращение диска вызывает изменение магнитного потока, что приводит к появлению переменного напряжения на зажимах катушки.

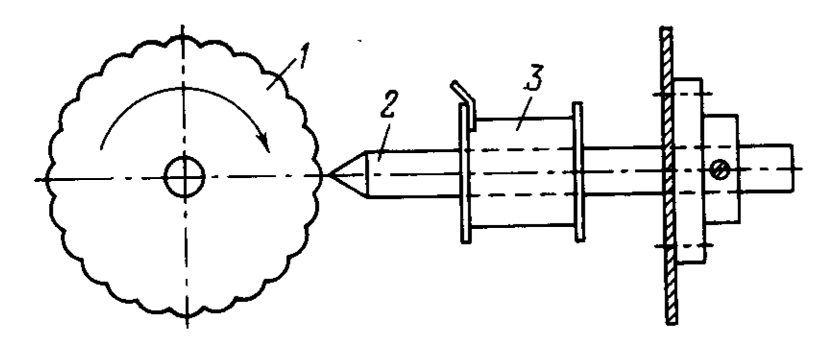



Рис. 11. Электромагнитный генератор Хэммонда.

*1* — колесо; *2* — магнит; *3* — катушка.

Всего в органе применяют 91 диск, что позволяет получить диапазон $7\frac{1}{2}$ октавы.

Главное преимущество этого инструмента заключается в превосходном сохранении строя. Хотя любое изменение частоты сетевого напряжения влияет на скорость вращения ротора синхронного двигателя для привода генераторных колес, интервалы между отдельными тонами остаются неизменными. Зато, если питать двигатель от специального генератора с регулируемой частотой, то

можно, изменяя скорость вращения колес, подстраивать ЭМИ при игре совместно с другими инструментами. Форма зубчатого колеса и магнита подобраны так, что генерируемые колебания имеют синусоидальную форму, а нужный тембр устанавливают смешиванием различных синусоидальных колебаний, находящихся в соотношениях, близких к гармоническим.

В других органах такой системы применяют электромагниты, имеющие различную форму полюсных наконечников при прямоугольном профиле зубчатого колеса. В этом случае получаемые колебания содержат в своем составе гармоники и окончательные тембры формируются при помощи формантных контуров.

В качестве генераторов электрических колебаний иногда применяют стальные язычки, подобные имеющимся в аккордеонах и баянах. Частоту собственных колебаний язычка можно рассчитать по формуле

$$f = \frac{0,5596}{l^2}\sqrt{\frac{Qk^2}{p}},$$

где $l$ — длина язычка, *см*; $Q$ — модуль Юнга, *дн/см²*; $p$ — плотность материала; $k$ — момент инерции.

Для язычка постоянного прямоугольного сечения

$$k = \frac{a}{\sqrt{12}},$$

где $a$ — толщина язычка, *см*.

Язычки легко изготовить из пружинной стальной ленты. От одного язычка можно одновременно получить два тона с интервалом в октаву, если расположить электромагнитные звукосниматели так, как показано на рис. 12. В катушке *B* возникают электрические колебания по частоте вдвое выше, чем в катушке *A*. Это дает возможность вдвое сократить количество генераторов в инструменте.

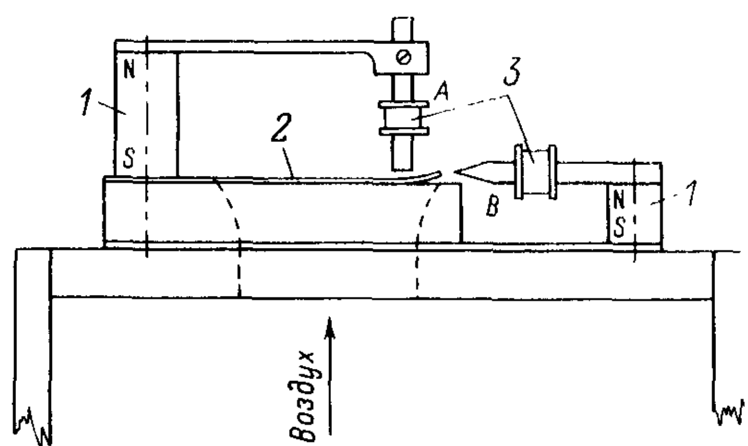



**Рис. 12. Установка звукоснимателей вблизи язычка.**

*1* — магниты; *2* — язычок; *3* — катушки.

Язычки могут быть использованы для получения синусоидальных тонов, необходимых для гармонического синтеза тембра (при малых амплитудах колебаний) и несинусоидальной формы для формирования готовых тембров. Особенно часто применяют язычки, сечение которых постепенно уменьшается от места защемления к концу. Обычно в язычковых ЭМИ воздух подают непрерывно от компрессора, а сигнал включается электрическим путем при помощи контактов. В некоторых электромагнитных системах применяют способ возбуждения язычка «магнитным щипком», разработанный Прохоровым и Яковлевым. Для этого служат также стальные язычки, неподвижно связанные с клавишей. В исходном состоянии клавиши язычки сцеплены с постоянным магнитом. При нажатии на клавишу язычок отрывается от магнита и совершает свободные колебания. Недостаток этого устройства состоит в том, что в момент отпускания клавиши язычок, сцепляясь с магнитом, наводит в электромагнитном датчике импульс напряжения, воспринимаемый как щелчок. Избавиться от него помогают дополнительные контакты, устанавливаемые под клавиатурой [Л. 24].

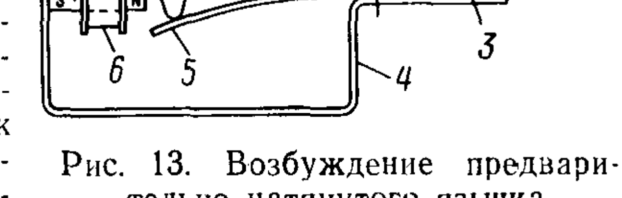



Рис. 13. Возбуждение предварительно натянутого язычка.

*1* — клавишный выступ; *2* — клавиша; *3* — опора; *4* — клавиатурная панель; *5* — язычок; *6* — катушка; *7* — магнит.

Другой способ возбуждения язычка, показанный на рис. 13, не имеет этого недостатка. В исходном состоянии язычок *5* находится в изогнутом состоянии, в которое его приводит выступ *1* на клавише *2*. При нажатии на клавишу язычок освобождается и начинает вибрировать, наводя в катушке *6* затухающие электрические колебания.

## 7. ЗАДАЮЩИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ОДНОГОЛОСНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Развитие одноголосных ЭМИ исторически происходило следующим путем: вначале появились инструменты с высокочастотной генераторной основой и пространственным управлением, затем — с высокочастотной генераторной основой и с грифовым управлением, в дальнейшем грифовая система осталась, а генераторы высокой частоты были заменены низкочастотными релаксаторами, и, наконец, для управления высотой тона была применена клавиатура.

Электромузыкальные инструменты с генераторами высокой частоты сейчас встречаются очень редко; причины этого можно понять, рассмотрев принцип работы и их эксплуатационные особенности. Блок-схема генераторной основы одного из таких инструментов — терменвокса, приведена на рис. 14.

Опорный и ведущий генераторы должны быть настроены на какую-либо ультразвуковую частоту, чаще всего в диапазоне до 100 *кгц* (использование более высокочастотного диапазона может привести к заметным радиопомехам). В этом смысле использование частот около 20—30 *кгц* обязывает конструктора принять меры к экранировке корпусов ЭМИ. Предположим, что опорный генератор настроен на частоту 50 *кгц*. Тогда ведущий генератор должен изменять свою частоту от 50 016 *гц* до 54 *кгц*; в этом случае в результате детектирования биений, которые возникают при соединении выходных цепей обоих генераторов, на выходе инструмента

получится напряжение звуковой частоты, изменяющейся от 16 *гц* до 4 *кгц*, т. е. почти во всем диапазоне музыкальных частот.

Чтобы изменять высоту тона, необходимо каким-либо способом воздействовать на задающий генератор. Для этого в терменвоксах с контурной катушкой задающего генератора $L_2$ индуктивно связывают катушку $L_1$, имеющую $w_1$ витков. Если отношение $w_1/w_2$ (где $w_2$ — число витков катушки $L_2$) будет намного больше единицы, то сопротивление, вносимое в контур генератора контуром, образованным индуктивностью катушки $L_1$ и емкостью антенны $A$, будет сильно изменяться даже при незначительном изменении емкости между антенной и землей. Это обстоятельство используется исполнителем: передвигая руку в пространстве вблизи антенны, он изменяет частоту колебаний генератора, а следовательно, и высоту тона инструмента.

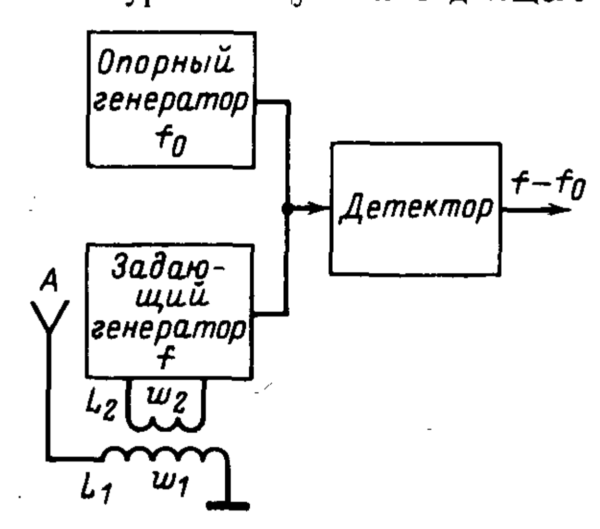



Рис. 14. Блок-схема терменвокса.

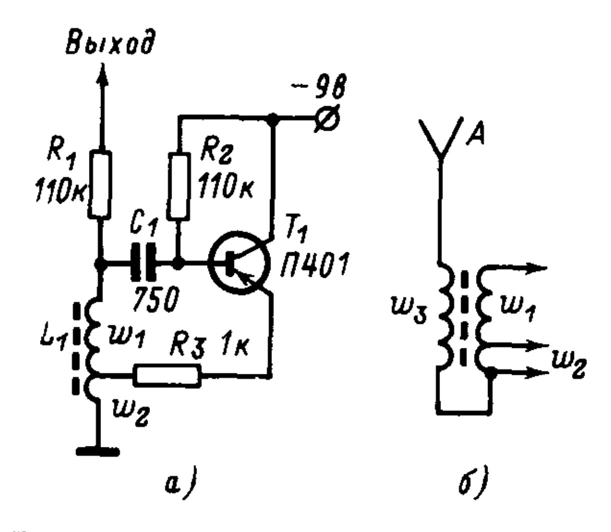



Рис. 15. Генератор терменвокса.

Из приведенного описания работы ЭМИ с высокочастотной генераторной основой ясны недостатки такого инструмента. Первый из них состоит в том, что даже при стабильности опорного генератора ±0,01% нужный низкочастотный тон можно получить при частоте этого генератора 50 *кгц* с точностью ±5 *гц*, что при разностной частоте 500 *кгц* составит ±1%, а при частоте 100 *гц* ±5%. Ясно, что такая нестабильность строя неприемлема. Второй недостаток этих инструментов заключается в нестабильности мензуры, т. е. применительно к терменвоксу — закона расположения в пространстве определенных нот. Вызвано это сильным влиянием на ЭМИ атмосферных и климатических условий (изменением диэлектрической проницаемости воздуха), присутствия вблизи людей, металлических предметов и т. п. Однако способ игры на терменвоксе так необычен, а тембр его настолько приятен, что он продолжает представлять определенный интерес, а введение его в оркестр позволяет получать интересные эффекты.

На рис. 15,*а* приведена схема высокочастотного опорного генератора. Для задающего генератора катушка контура выполняются по схеме (рис. 15,*б*), а схема генератора остается такой же. Катушки для данного генератора наматывают на сердечниках ОБ-20. Обмотка $w_1$ содержит 40, $w_2$ — 20 и $w_3$ — 2 000 витков. Для последней обмотки применен провод ПЭВ-2 0,06, а для остальных —



ПЭВ-2 0,18. Выходы обоих генераторов через резисторы $R_1$ соединяют и подводят к детектору, который обязательно должен быть квадратичным, так как линейное детектирование для биений непригодно. Выходное напряжение каждого генератора высокой частоты имеет форму немного искаженной синусоиды, поэтому в результирующем низкочастотном сигнале обязательно будут содержаться высшие гармоники.

Ламповые системы генераторов с грифовым управлением описаны в [Л. 14, 23, 31]. На рис. 16 изображен транзисторный генератор немецкого инженера Брухгольца. Он вырабатывает пилооб-

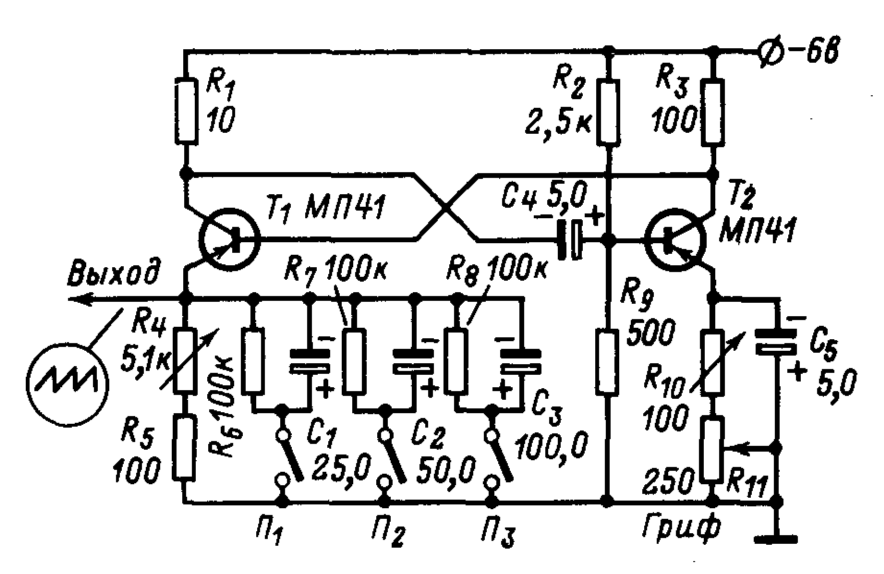



Рис. 16. Генератор тона с грифовым управлением.

разные колебания, снимаемые с эмиттера транзистора $T_1$, частота их изменяется плавно грифом $R_{11}$, сопротивление которого равно 250 *ом*. Резистор $R_{10}$ служит для подстройки инструмента, цепочки $R_6C_1$, $R_7C_2$, $R_8C_3$ — для октавного переключения диапазона переключателями $П_1$—$П_3$.

Недостаток этой схемы состоит в том, что частотозадающими элементами служат электролитические конденсаторы. С одной стороны, это позволило сделать гриф довольно низкоомным, что очень важно при его изготовлении. С другой стороны, стабильность такого генератора будет весьма низкой.

В другой схеме (рис. 17) генератора с грифовым управлением применен более высокоомный гриф $R_7$ сопротивлением 50 *ком*, при этом стабильность частоты генерируемых колебаний значительно выше. В этой схеме хорошо работают маломощные транзисторы любых типов, а амплитуда выходного напряжения, имеющего пилообразную форму, почти не зависит от частоты. Диапазон изменения частоты грифом равен примерно 2,3 октавы; с помощью переключателя $П_1$, коммутирующего конденсаторы, можно с каждым переключением передвигать весь диапазон на октаву. Таким образом, охватывается диапазон в 6,3 октавы (от звука *ля* контроктавы до звука *ре* пятой октавы). Разумеется, для точного октавного сдвига емкость конденсаторов в цепи эмиттера транзистора $T_1$ должна изменяться точно вдвое. Поэтому желательно подобрать емкость конденсаторов $C_1$—$C_6$ при помощи измерительного моста либо путем включения параллельно им подстроечных конденсаторов

небольшой емкости. Общая подстройка генератора производится переменным резистором $R_2$. При его использовании диапазон инструмента может изменяться более, чем на ±0,5 тона; мензура при этом не нарушается. Ток, потребляемый генератором, при указанном напряжении коллекторного питания составляет 5 *ма*. Генератор работает при напряжениях питания в пределах от 4 до 15 *в*.

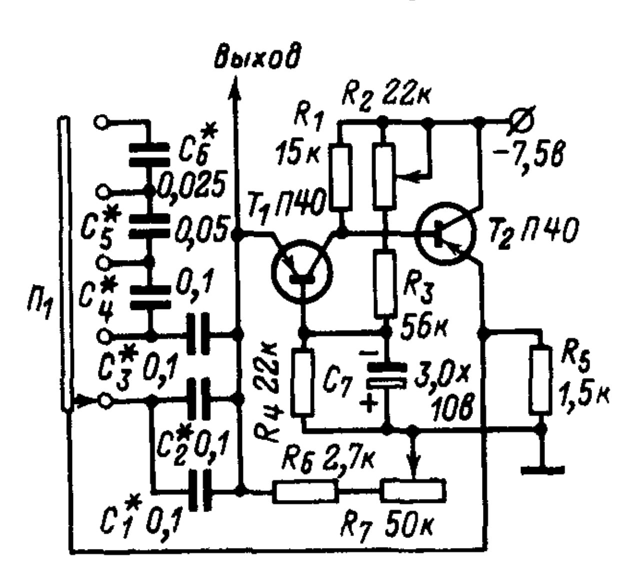



Рис. 17. Генератор с высокоомным грифом.

Клавишные одноголосные ЭМИ строят на основе коммутации частотозадающих элементов генератора при помощи клавиатуры. Для этой цели применяют контактные системы самых разнообразных конструкций. Схему коммутации выполняют так, чтобы при случайном нажатии двух и более клавишей генерировался лишь один тон, соответствующий самой верхней из нажатых клавишей. Такая схема называется схемой прямого выбирания высоты тона. На рис. 18 изображена схема прямого выбирания в реостатно-емкостном генераторе. Здесь частотозадающие резисторы включены последовательно и переключаются нормально разомкнутыми контактами. При нажатии клавиши $K_3$ частота генерируемых колебаний будет определяться суммой сопротивлений резисторов $R_1$, $R_2$ и $R_3$, при одновременном нажатии клавишей $K_1$, $K_2$ и $K_3$ высота тона будет зависеть только от сопротивления резистора $R_1$. Так как обычно в реостатно-емкостных генераторах частота обратно пропорциональна сопротивлению резистора, входящего в частотозадающую цепь, то, очевидно, сопротивление резистора $R_1$ будет определять частоту наивысшего тона диапазона инструмента. Ясно, что для более низкой ноты на высоту тона будут влиять все резисторы, подключенные к генератору, начиная от клавиши, соответствующей

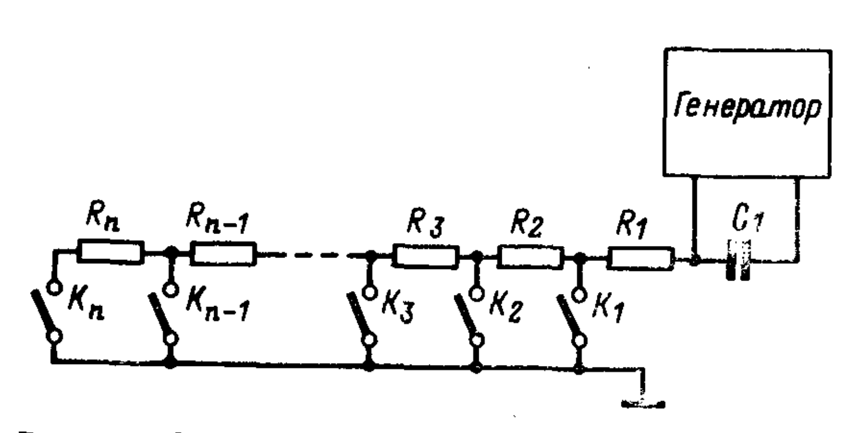



Рис. 18. Схема прямого выбирания высоты тона.



этой ноте. Отсюда следует два вывода, касающиеся схемы прямого выбирания:

1) Построенный по схеме прямого выбирания ЭМИ следует настраивать последовательно, начиная с крайней правой клавиши.

2) Стабильность строя такого ЭМИ зависит от сохранения в течение определенного времени сопротивлений резисторов частотозадающей цепочки, причем в наихудших условиях находятся наиболее низкие тоны, так как на изменение их высоты влияет большое количество элементов. На практике $R_1$—$R_n$ — обычно переменные резисторы; после настройки инструмента оси резисторов должны быть закреплены для предотвращения расстройки ЭМИ при переноске и транспортировке. Такие инструменты редко строят более чем на 3—3,5 октавы, так как стабильность настройки низших нот не получается хорошей даже при специально принятых мерах.

При использовании *LC*-генератора клавиатурой можно коммутировать набор конденсаторов, входящих в его колебательный контур. Схема прямого выбирания с *LC*-генератором должна быть построена так, чтобы все конденсаторы были включены параллельно друг другу и катушке индуктивности, а клавиатура имела нормально замкнутые контактные пары. Такую схему применяют реже вследствие сложности подстройки каждого полутона. В одноголосном ЭМИ фирмы Хэммонд (США) «Соловокс» применен *LC*-генератор, но в нем клавиатурой коммутируют не конденсаторы, а катушки индуктивности, каждую из которых подстраивают ферромагнитным сердечником, Такой принцип управления *LC*-генератором тона, очевидно, более удобен.

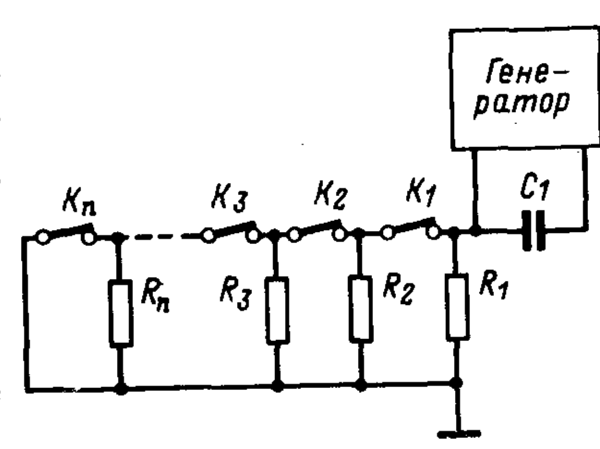



Рис. 19. Схема обратного выбирания высоты тона.

В зарубежных конструкциях электроорганов часто кроме основных клавиатур, управляемых руками, делают ножную клавиатуру (так называемая «педальная клавиатура» или просто «педаль») для сопровождения мелодии басовым аккомпанементом. Педальные клавиатуры обычно выполняют одноголосными. Для педали целесообразнее применять систему обратного выбирания высоты тона, так как при случайном одновременном нажатии двух педалей должна прозвучать наиболее низкая нота. Если педальную систему строят на основе *RC*-генератора, то переключение полутонов происходит так, как показано на рис. 19. В этом случае частотозадающие резисторы включают параллельно друг другу и коммутируют их нормально замкнутыми контактами клавиатуры. Для обратного выбирания применимы и *LC*-генераторы, но включение тонов должно происходить нормально разомкнутыми контактами клавиатуры. Конденсаторы включают последовательно. Наиболее низкий тон в схемах обратного выбирания получается при замыкании первого к катушке контакта. На рис. 20 приведена практическая схема импульсного *RC*-генератора, примененная в отечественном одноголосном инструменте «Эстрадин-3» («Романтика»). Стабильность гене-

ратора не хуже 0,48%, строй сохраняется с точностью 0,2%. Этому способствует применение подстроечных резисторов СП-2 с контргайкой. Этот инструмент работает в диапазоне трех, т. е. второй, третьей и четвертой октав (36 клавишей). Сопротивления подстроечных резисторов таковы: $R'_2$—$R'_5$—2,5 *ком*; $R'_6$—$R'_{22}$—6,8 *ком*; $R'_{23}$—$R'_{36}$ — 12 *ком*.

Эта схема представляет собой аналог ламповой схемы мультивибратора с катодной емкостью. Благодаря тому, что тепловые токи базы не протекают через конденсатор $C_2$, стабильность часто-

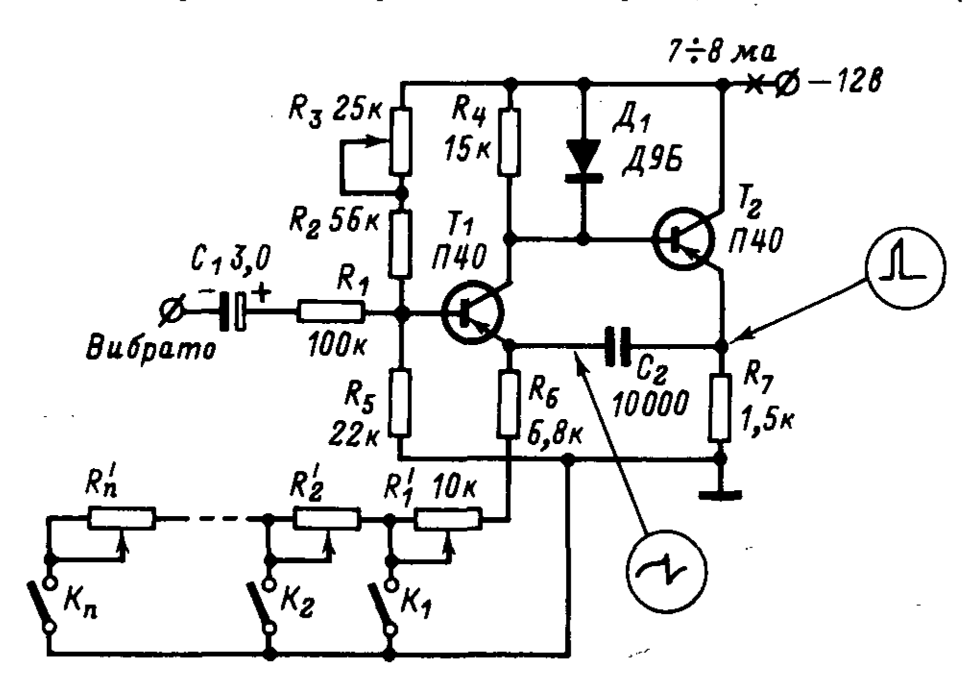



Рис. 20. Генератор тона, примененный в одноголосном инструменте «Эстрадин-3».

ты генерируемых колебаний намного выше, чем у мультивибратора с коллекторно-базовыми связями. Переменный резистор $R_3$ служит для общей перестройки генератора, этим резистором весь строй инструмента может передвигаться на полтона вверх или вниз. Общая подстройка в электромузыкальном инструменте — очень важный элемент, так как она позволяет быстро и точно подготовить инструмент к игре в оркестре.

Наибольшие затруднения при настройке одноголосного ЭМИ вызывает необходимость настройки каждого полутона в отдельности. Самое простое решение этого вопроса заключается в применении переменных резисторов по одному на каждую клавишу. Путем незначительного усложнения контактной системы клавиатуры можно ограничиться всего двенадцатью подстроечными элементами при любом размере клавиатуры (рис. 21). Данная схема составлена применительно к мультивибратору с эмиттерной емкостью, но она с успехом может быть применена и в других случаях. Работает схема следующим образом. Контакты, связанные с одноименными клавишами всех октав, например для ноты *си*, вместе присоединяются к частотозадающему резистору, относящемуся к ноте *си*, в данном случае к $R'_1$.

Емкости частотозадающих конденсаторов здесь не постоянны, как и в схеме, изображенной на рис. 20, и переключаются второй нормально замкнутой парой контактов.



Из приведенной схемы видно, что при нажатии любой клавиши верхней октавы между эмиттерами транзисторов будет включен конденсатор $C_1$ емкостью 10 000 *пф*. При переходе в следующую, более низкую октаву, к этому конденсатору параллельно будет присоединен такой же конденсатор $C_2$, что вызовет октавное пони-

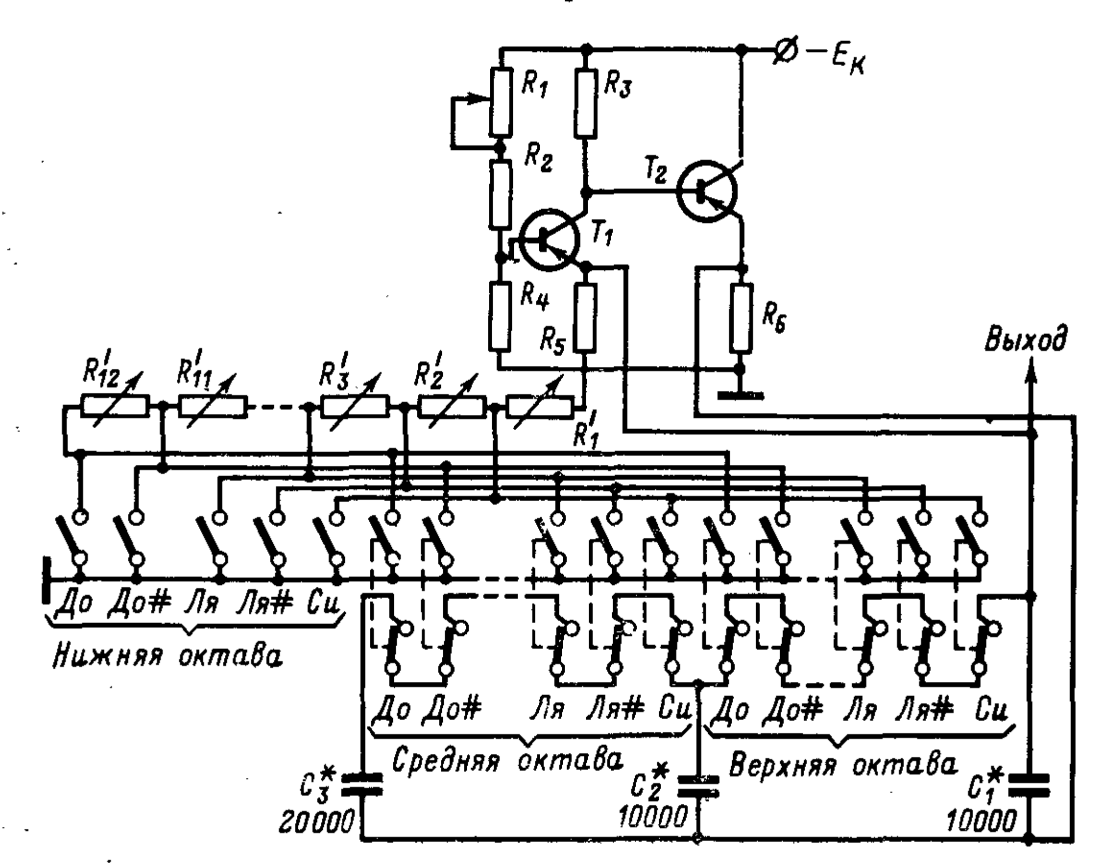



Рис. 21. Сокращение числа подстроечных резисторов в генераторе, изображенном на рис. 20.

жение высоты тона при включении одного и того же резистора для ноты *си*. Схема интересна тем, что для самой нижней октавы инструмента дополнительные контакты клавиатуры не потребуются. Разумеется, емкость конденсаторов $C_1$—$C_3$ для точного октавного понижения высоты тона нужно тщательно подобрать.

Существует и другой метод сокращения числа частотозадающих резисторов. Для этого понадобятся делители частоты. Подробнее этот метод описан в разделе, посвященном инструменту «Романтика-3».

Следует обратить особое внимание на то, что в одноголосном ЭМИ генератор не работает, если клавиши не нажаты. При срабатывании клавишных контактов он приходит в режим генерации. Этот переход сопровождается резким изменением режима транзисторов по постоянному току, ощущаемому на слух как неприятный щелчок. Такие переходные процессы неотвратимы и поэтому манипулятор должен быть обязательной составной частью одноголосного инструмента.

Одноголосные ЭМИ служат основой для построения упрощенных электроорганов, т. е. многоголосных ЭМИ с ограниченными возможностями. Нужно еще раз подчеркнуть, что такие инструменты не могут в полной мере удовлетворять требованиям музы-

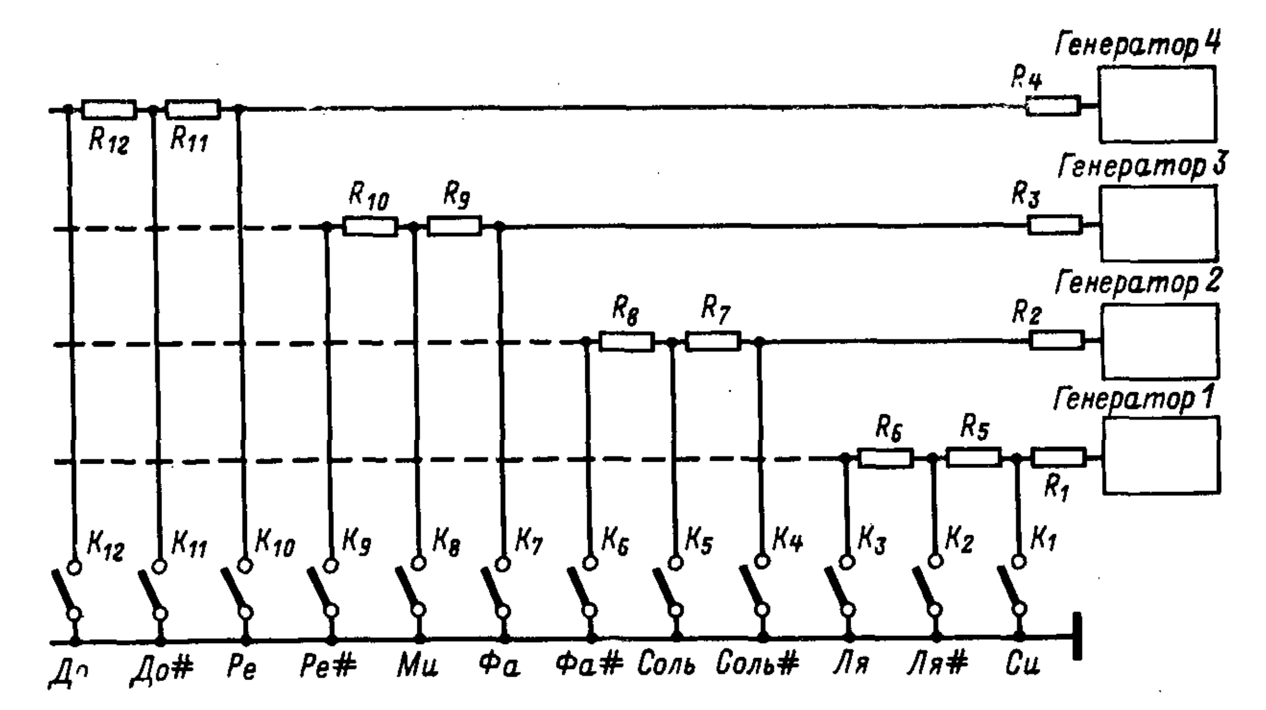



Рис. 22. Четырехголосный электромузыкальный инструмент.

кантов (именно как электроорганы), однако любительские конструкции часто строятся на такой основе, и, конечно, нельзя не признать, что упрощенные инструменты имеют полное право на существование.

Наиболее простой вариант электрооргана состоит из четырех генераторов тона (рис. 22). В пределах одной октавы каждый из генераторов обслуживает три ноты, например, *до*, *до-диез* и *ре*, второй — *ре-диез*, *ми* и *фа* и т. д. В таком ЭМИ одновременно могут звучать четыре голоса; недостаток его состоит в невозможности одновременного звучания октав и сложных аккордов. Более сложная схема (рис. 23) насчитывает семь генераторов тона. Она строится таким образом, что каждый генератор в пределах одной октавы обслуживает две смежные ноты, допустим, *ля-диез* и *си*. Для этого используют первые шесть генераторов. Седьмой генератор вырабатывает тоны *ля-диез* и *си* в более низкой октаве, в этой же октаве первый генератор вырабатывает уже тоны *соль-диез* и *ля* и так далее. Таким образом, в конечном счете октавные тоны могут уже звучать вместе. В такой схеме исключается только одновременное использование тонов, составляющих малую секунду и два интервала, превышающих октаву (нона, децима и т. д.).

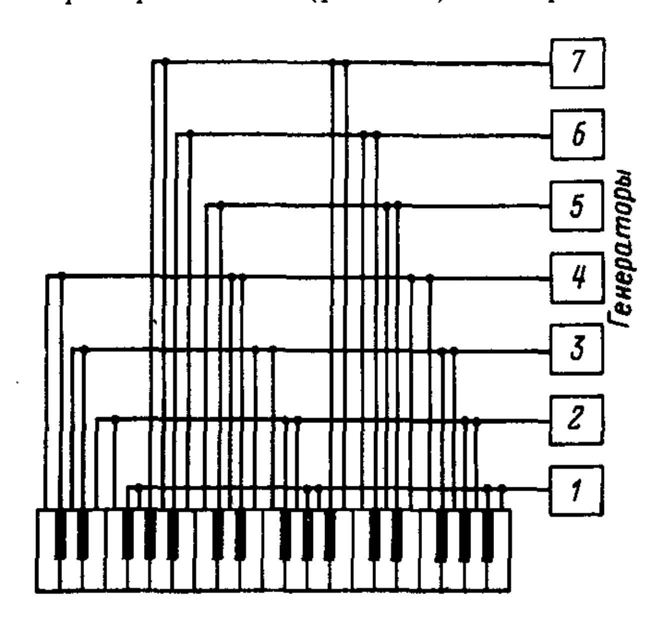



Рис. 23. Электроорган с семью генераторами тона.



Применение двух и более клавиатур очень расширяет возможности ЭМИ. В этом случае появляется возможность разделить мелодию и аккомпанемент как по громкости, так и по тембру. Иногда в двухклавиатурной системе строят одноголосные инструменты (немецкая модель «Мультимоника») [Л. 16]. При этом для каждой клавиатуры имеется свой отдельный генератор тона; при электрическом соединении клавиатур получается красивый унисон. Более сложны, но и более интересны системы, когда одна из клавиатур — одноголосная, а на нижней клавиатуре можно получать многоголосный аккомпанемент.

## 8. ЗАДАЮЩИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ МНОГОГОЛОСНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Основной параметр задающего генератора многоголосного ЭМИ — стабильность частоты генерируемых колебаний, зависящая в основном от температуры, атмосферных условий, стабильности питающего напряжения и времени.

Уход частоты задающего генератора под влиянием внешних дестабилизирующих факторов не должен превышать 6—8 центов (0,3—0,5%). Принято стабильность генераторной основы инструмента оценивать величиной относительной нестабильности частоты $\delta$:

$$\delta = \frac{\Delta f}{f}\,100\%,$$

где $f$ — первоначальная частота настройки задающего генератора; $\Delta f$ — максимальное отклонение частоты настройки при изменении дестабилизирующего фактора в заданных пределах.

При воздействии нескольких дестабилизирующих факторов одновременно общая нестабильность частоты задающего генератора определяется алгебраической суммой относительных нестабильностей от влияния каждого фактора в отдельности:

$$\delta_{общ} = \delta_{t^\circ} + \delta_B + \delta_U + \delta_\varphi + \delta_T,$$

где $\delta_{t^\circ}$ — относительная нестабильность от изменения температуры; $\delta_B$ — относительная нестабильность, зависящая от изменения влажности окружающего воздуха; $\delta_U$ — относительная нестабильность от изменения питающих напряжений; $\delta_\varphi$ — относительная нестабильность от изменения фазовых соотношений в генераторе; $\delta_T$ — относительная нестабильность во времени от изменения номиналов элементов схемы в результате старения. Рассмотрим в отдельности характер и степень влияния дестабилизирующих факторов.

Наибольшую величину в приведенной формуле имеет относительная нестабильность частоты, вызываемая изменением окружающей температуры. Нормальным температурным диапазоном работы ЭМИ следует считать диапазон комнатных температур. Вероятность эксплуатации инструментов вне диапазона 10°—35° С очень мала, поэтому необходимо проверить стабильность генераторов именно в этом диапазоне. Первостепенное значение в температурной стабилизации задающих генераторов имеет применение элементов генератора с возможно меньшими температурными коэффициентами (ТКС, ТКЕ, ТКИ).

Резисторы МЛТ и УЛМ имеют ТКС порядка $10^{-4}/1^\circ$ С. В качестве частотозадающих конденсаторов следует стремиться приме-

нять слюдяные типа КСО и слюдяные герметизированные КСГ конденсаторы (ТКЕ=$10^{-5}$—$10^{-6}$/1° С). Все другие типы конденсаторов уступают слюдяным.

Наименьший ТКИ имеют катушки, выполненные на альсиферовых сердечниках типов ВЧ и ТЧ (ТКИ=$10^{-6}$/1° С). Неплохие результаты можно получить с броневыми сердечниками СБ, хуже работают ферриты. Очень хорошо ведут себя катушки, намотанные на сердечниках из трансформаторной стали, однако габариты их получаются значительными. При изготовлении катушек с сердечником из листового материала нужно обязательно принять меры, предотвращающие проникание влаги внутрь сердечника и катушки. С этой целью можно пропитать сердечники и катушку влагостойким лаком, например эпоксидным.

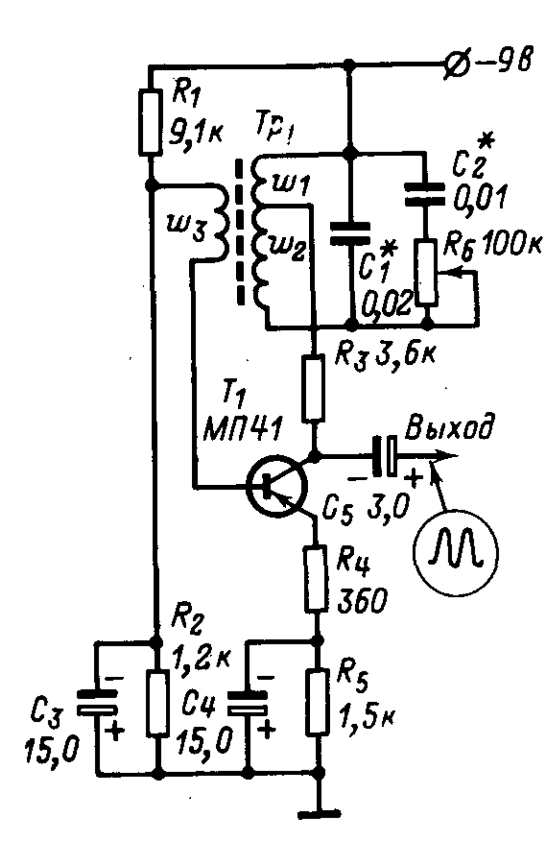


Рис. 24. Задающий $LC$-генератор с высокой стабильностью частоты.

Наиболее вредное влияние на стабильность частоты оказывает температурный дрейф параметров транзисторов. Кремниевые транзисторы имеют в этом отношении преимущества перед германиевыми, однако стоимость их выше, поэтому необходимо для каждой схемы подбирать транзисторы с возможно меньшими тепловыми неуправляемыми токами, а также стабилизировать режим транзисторов по постоянному току, используя элементы температурной компенсации (например, полупроводниковые диоды, термисторы). После сборки и настройки задающего генератора плату вместе со всеми деталями следует окунуть в парафин или покрыть бесцветным лаком.

Нестабильность частоты задающего генератора от изменения питающих напряжений можно в расчет не принимать, если она учитывается при изготовлении стабилизированного блока питания. Обычно, сняв зависимость частоты генерируемых колебаний от изменения питающего напряжения, задаются какой-либо приемлемой величиной $\delta_U$, например 0,05%, и по снятой зависимости выясняют, какой коэффициент стабилизации должен иметь блок питания ЭМИ.

Взаимная модуляция гармонических составляющих, вызванная нелинейностью усилительного элемента или катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником, примененных в схеме задающего генератора, приводит к сдвигу фазового угла основной гармоники. Относительная нестабильность частоты при этом равна [Л. 28]:

$$\delta_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{2Q},$$

где $\Delta\varphi$ — изменение фазового угла основной гармоники; $Q$ — добротность контура.



Бороться с этой нестабильностью можно двумя путями — увеличением добротности контура или улучшением линейности усилительного элемента. Свидетельством того, что принятые меры достаточны, будет синусоидальная форма выходного напряжения генератора.

Нестабильность частоты, вызванная старением элементов генератора, трудно учитывается; во всяком случае задающий генератор обязательно должен содержать какой-либо элемент, служащий для его периодической подстройки (переменный резистор либо сердечник катушки индуктивности).

Перейдем теперь к рассмотрению транзисторных схем задающих генераторов. Наиболее стабильны по частоте $LC$-генераторы синусоидальных колебаний. Наилучшие результаты можно получить, применив схему, показанную на рис. 24. Связь транзистора с контуром здесь невелика. Обмотка $w_1$ трансформатора $Тр_1$ содержит 254, обмотка $w_2$ — 1 746 и обмотка $w_3$ — 290 витков провода ПЭВ 0,25. Сердечник состоит из двух сложенных вместе альсиферовых колец ТЧ-60. На заданную частоту генератор настраивают резистором $R_6$. Температурная нестабильность частоты генератора не превышает 0,05% в диапазоне 10—35° С.

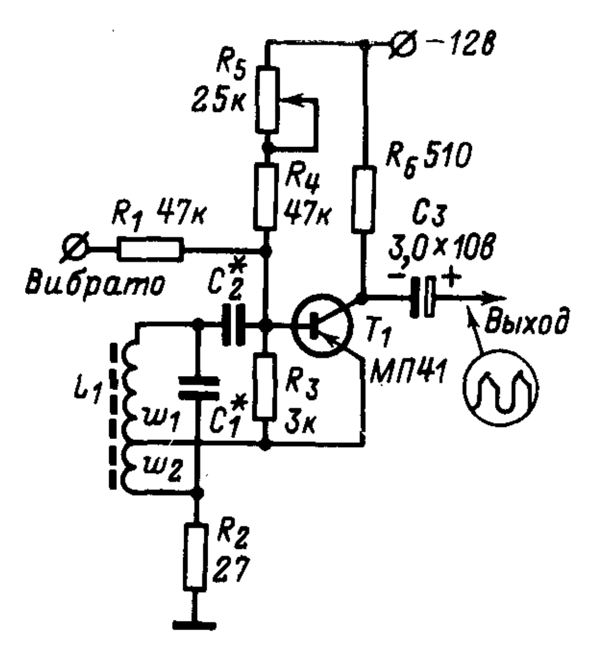


Рис. 25. $LC$-генератор по индуктивной трехточечной схеме.

Такая высокая стабильность задающего генератора не позволяет простыми средствами получить частотную модуляцию его выходного напряжения при помощи вспомогательного напряжения вибрато.

Нестабильность генератора, схема которого приведена на рис. 25, достигает 0,4%, однако при подаче через резистор $R_1$ на базу транзистора напряжения инфразвуковой частоты от генератора вибрато, получается не очень глубокая, но приятная на слух девиация частоты выходного сигнала. Катушка контура генератора выполнена на броневом ферритовом сердечнике ОБ-20 (феррит 2 000 НМ) с зазором 0,2 *мм*; ее обмотка $w_1$ содержит 600, а $w_2$ — 300 витков провода ПЭВ 0,12. Можно эту же катушку индуктивности выполнить на кольцевом ферритовом сердечнике с такой же магнитной проницаемостью; внешний диаметр кольца 10 *мм*. Обмотка $w_1$ в этом случае должна содержать 235, а $w_2$ — 135 витков провода ПЭЛШО 0,2. Переменный резистор $R_5$ служит для настройки.

Схема индуктивной трехточки, показанная на рис. 26, — улучшенный вариант описанной выше схемы. Здесь введена глубокая отрицательная обратная связь по постоянному току, а сопротивление перехода эмиттер—база транзистора стабилизировано диодом $Д_1$. Чтобы снизить влияние нагрузки на работу генератора, он снабжен буферным каскадом, выполненным по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе $T_2$.

Конденсатор $C_2$ предназначен для подстройки. Если необходимо подстроить задающий генератор на частоты четвертой октавы, емкость этого конденсатора можно определить по табл. 6.

*Таблица 6*

| Емкость | Задающий генератор | | | |
|---|---|---|---|---|
| | до, до-диез, ре | ре-диез, си, фа | фа-диез, соль, соль-диез | ля, ля-диез, си |
| $C_2$, *мкф* | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,015 |

Лучше всего применить слюдяные конденсаторы, включив их параллельно группами для набора нужной емкости. В крайнем случае можно использовать бумажные или металлобумажные конден-

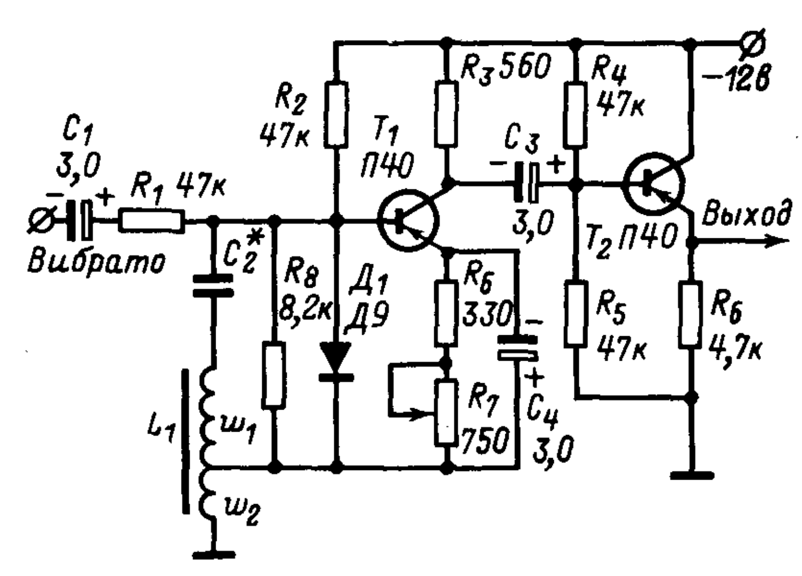



Рис. 26. Задающий генератор «Эстрадина-6».

саторы. Катушка $L_1$ намотана на сердечнике из отожженного 75%-ного пермаллоя, в этом случае обмотка $w_1$ имеет 300, а $w_2$ — 100 витков провода ПЭВ-1 0,18. Индуктивность ее равна 1,5 *гн*, сопротивление постоянному току 5 *ом*.

Точно настраивают генератор на нужную частоту резистором $R_7$, который по сути изменяет степень насыщения сердечника катушки $L_1$ и, следовательно, ее индуктивность. Сопротивление этого резистора не обязательно должно быть равно 750 *ом*. Однако следует иметь в виду, что с увеличением сопротивления стабильность ухудшается, а с уменьшением сужается диапазон перестройки. Как меняется диапазон перестройки частоты генератора в зависимости от сопротивления резистора $R_7$, показано в табл. 7.

*Таблица 7*

| $R_7$, *ом* | $\Delta f$, % |
|---|---|
| 1 000 | ±14 |
| 750 | ±10 |
| 150 | ±1,3 |



Напряжение от генератора вибрато подается через цепочку $C_1R_1$. Необходимо учитывать, что выходное сопротивление генератора вибрато шунтирует контур, и поэтому точно настраивать генератор надо с подключенным, но не работающим генератором вибрато. Для этого в последнем необходимо разорвать цепь положительной обратной связи.

Ток, потребляемый этой схемой, примененной в электрооргание «Эстрадин-6», составляет приблизительно 3 *ма*.

Бывает, что по какой-либо причине необходимо применить для генератора катушку без отводов. В этом случае целесообразно построить генератор по емкостной трехточечной схеме, показанной на рис. 27. Такой генератор настраивают переменным резистором $R_2$, которым можно изменять режим транзистора по постоянному току и тем самым изменять степень насыщения сердечника катушки индуктивности колебательного контура. Катушка $L_1$ выполнена на пермаллоевом сердечнике Ш5×10 и содержит 300 витков провода ПЭВ 0,15. В другой модификации емкостной трехточки, показанной на рис. 28, генератор настраивают сердечником катушки индуктивности. Катушка размещена в сердечнике СБ-4а и содержит 1 500—2 000 витков провода ПЭВ 0,1 (для настройки на частоты третьей октавы).

Рис. 27. Задающий генератор по емкостной трехточечной схеме.

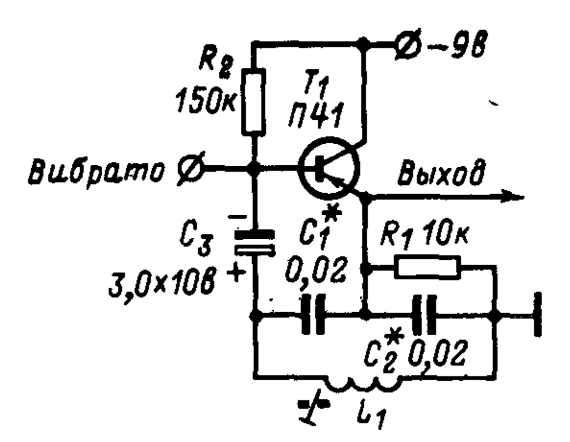



Рис. 28. Задающий генератор с настройкой сердечником катушки (емкостная трехточка).

Достаточно высокой стабильности (0,3%) можно добиться, применив генератор, собранный по схеме мультивибратора, стабилизированного катушкой индуктивности (рис. 29). Катушка имеет 6 500 витков провода ПЭВ-2 0,1. Генератор настраивают ферромагнитным сердечником. Нужную емкость конденсатора $C_2$ устанавливают путем параллельного включения ряда слюдяных конденсаторов (табл. 8).

Зачастую применение *LC*-генераторов вызывает известные трудности. В этом случае можно применить *RC*-генераторы, стабильность которых может конкурировать при очень тщательном изготовлении со стабильностью *LC*-генераторов. Схема генератора с *RC*-мостом, представляющим собой модификацию двойного Т-образного моста (рис. 30), очень хорошо себя зарекомендовала на практике. С данными элементов, приведенными на схеме, применимы практически любые типы транзисторов с коэффициентом усиления по току $\beta > 19$. Схема хорошо работает на любых частотах звукового диа-

Таблица 8

| Емкость | Задающий генератор | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *фа₃* | *фа-диез₃* | *соль₃* | *соль-диез₃* | *ля₃* | *ля-диез₃* |
| $C_2$, *пф* | 10 000<br>10 000<br>1 000 | 6 800<br>10 000<br>10 000 | 6 800<br>10 000<br>10 000 | 6 800<br>6 800<br>10 000 | 4 300<br>6 800<br>10 000 | 3 000<br>4 300<br>10 000 |

Продолжение табл. 8

| Емкость | Задающий генератор | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *си₃* | *до₄* | *до-диез₄* | *ре₄* | *ре-диез₄* | *ми₄* |
| $C_2$, *пф* | 2 000<br>4 300<br>10 000 | 680<br>4 300<br>10 000 | 2 000<br>3 600<br>6 800 | 1 000<br>3 600<br>6 800 | 3 600<br>6 800<br>— | 2 400<br>6 800<br>— |

пазона и в широком диапазоне питающих напряжений. Частота генерации может быть рассчитана по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi RC},$$

где $R$ — сопротивление каждого из резисторов $R_3$ и $R_4$, *Мом*; $C$ — емкость каждого из конденсаторов $C_3$ и $C_5$, *мкф*.

Чтобы схема работала на любых транзисторах, сумма сопротивлений резисторов $R_6$ и $R_7$ должна быть в 5 раз меньше сопротивления $R$, а емкость конденсатора $C_2$ — в 5 раз больше емкости $C$. Настраивать генератор можно резистором $R_7$. Ток, потребляемый схемой при напряжении $U_к=9$ *в*, составляет 0,5 *ма*.

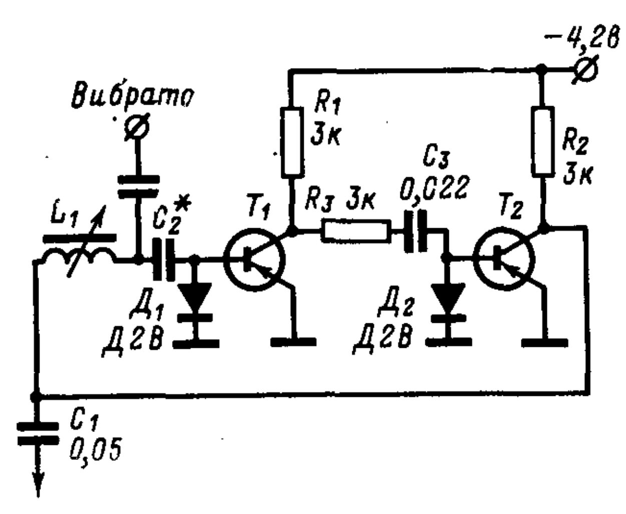



Рис. 29. Мультивибратор, стабилизированный катушкой индуктивности.

Иногда для групповой подстройки задающих генераторов, что очень важно при применении электрооргана в оркестре, и для получения глиссандирования в аккордах, применяют нестабильные схемы, чаще всего мультивибраторы. Однако применяя их, нужно помнить о том, что такие ЭМИ нуждаются в корректировке строя почти перед каждой игрой.

Схема мультивибратора (рис. 31) имеет относительную нестабильность порядка 0,5%. В этой схеме точка соединения резисторов $R_2$ и $R_{общ}$ — общая для всех генераторов; общие также переменный резистор $R_{общ}$ и развязывающий конденсатор большой емкости $C_{общ}$. Резистором $R_{общ}$ можно глиссандировать взятый аккорд в пределах 3,5 тона, причем при введении этого резистора высота тона плавно понижается.

Резистором $R_5$ каждый из генераторов настраивают на необходимую частоту. Сопротивление резистора $R_4$ подбирают с помощью магазина сопротивлений для каждого генератора индивидуально. Сопротивление его должно быть в пределах 18—56 *ком* для частот третьей октавы. Настраивать следует так, чтобы нужная частота генератора получалась при установке резистора $R_5$ в среднее положение. Для этого необходимо установить ось резистора $R_5$ в среднее положение, а затем подобрать с помощью магазина сопротивлений нужное сопротивление резистора $R_4$. Делители частоты можно синхронизировать остроконечными импульсами, снятыми с эмиттера транзистора $T_2$.

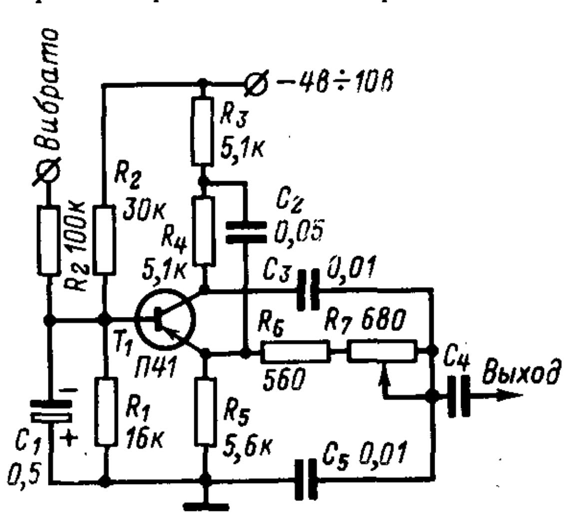



Рис. 30. Схема задающего $RC$-генератора синусоидальных колебаний.

Все описанные схемы $RC$- и $LC$-генераторов предназначены прежде всего для работы с цепочками делителей частоты, хотя некоторые из $LC$-генераторов, например изображенные на рис. 24, 27, могут работать и как отдельные клавишные генераторы. Обычно же для клавишных генераторов используют несколько иные схемы. Основное их отличие от описанных состоит в том, что они требуют высокой стабильности при изменении напряжения питания, так как амплитуда колебаний управляется именно регулировкой коллекторного напряжения.

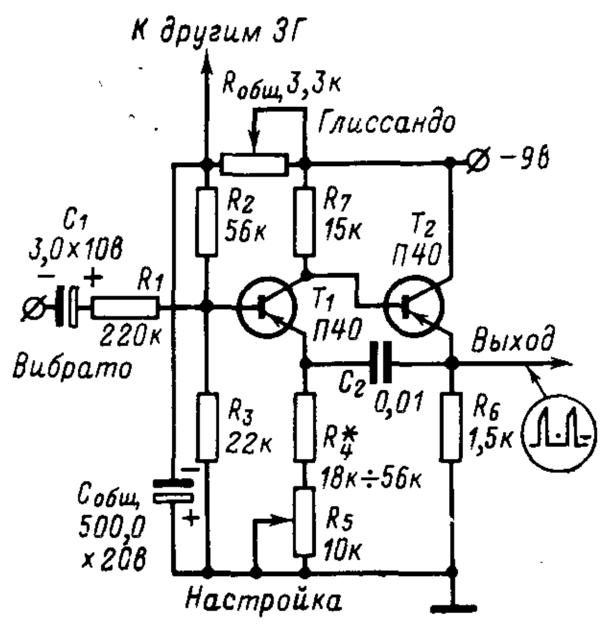



Рис. 31. Задающий генератор с групповой подстройкой.

Один из методов стабилизации таких генераторов состоит в создании незначительной связи контура с транзистором. Второй способ заключается в максимальном увеличении добротности контура. Лучшими сердечниками для катушек следует признать сердечники из альсифера и карбонильного железа. Очень большое значение имеет зазор, вводимый в сердечник для исключения влияния постоянного подмагничивания на индуктивность. В электрооргане Аллена, например, применены транзисторные манипулято-

ры-генераторы с атакой в цепи базы (рис. 32). Каждый из этих генераторов имеет собственные темброобразующие цепи, подключаемые к соответствующим сборным шинам.

Исключительно высокой стабильности частоты можно достигнуть, построив камертонный генератор (рис. 33). Усилительный каскад, собранный на транзисторе $T_2$, преобразует синусоидальные

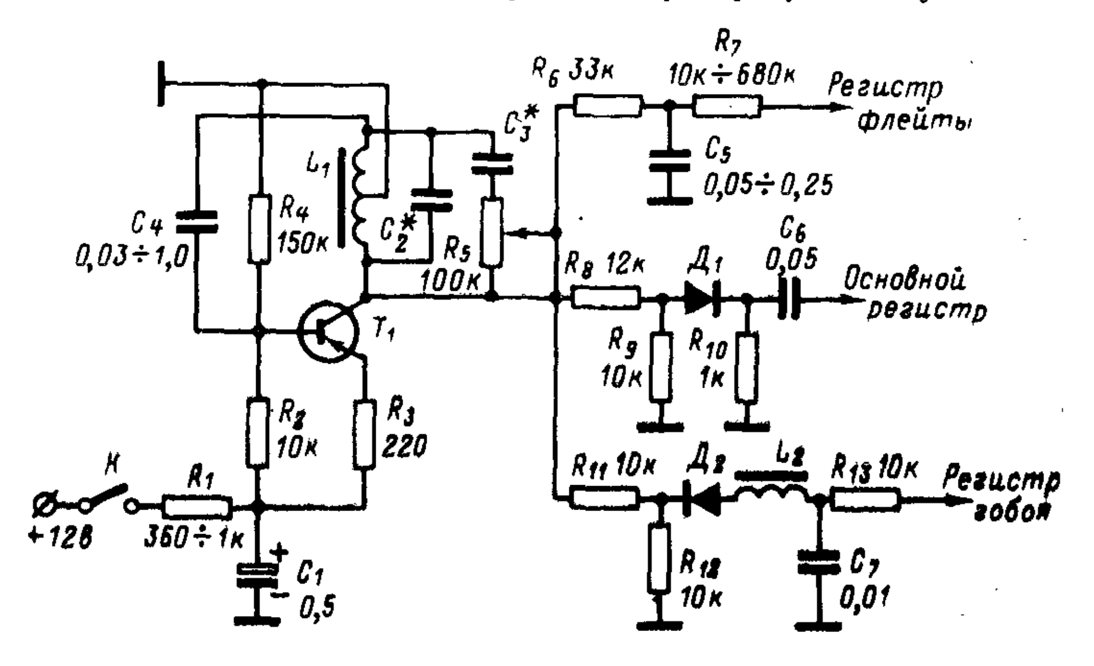



Рис. 32. Клавишный генератор органа Аллена.

колебания, снимаемые с эмиттера транзистора $T_1$, в прямоугольные, нужные для запуска делителей частоты. Камертон (рис. 34) изготовлен из магнитной нержавеющей стали, его размеры для четвертой октавы приведены в табл. 9.

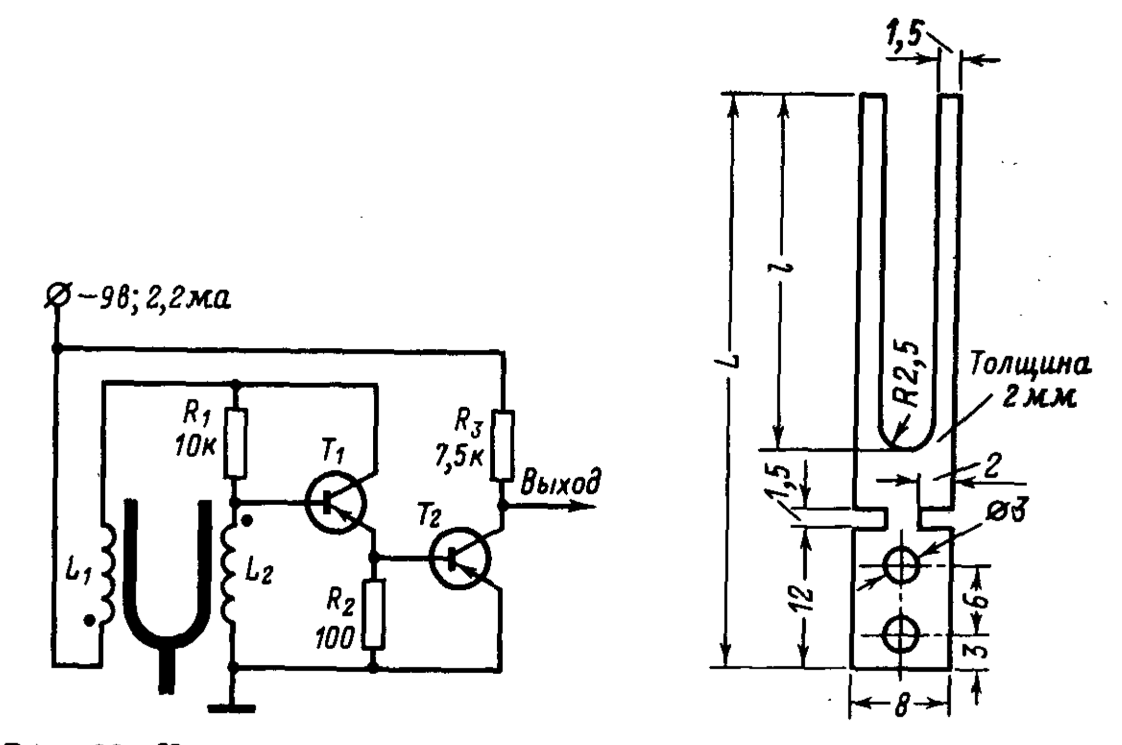



Рис. 33. Камертонный генератор.

Рис. 34. Камертон.



*Таблица 9*

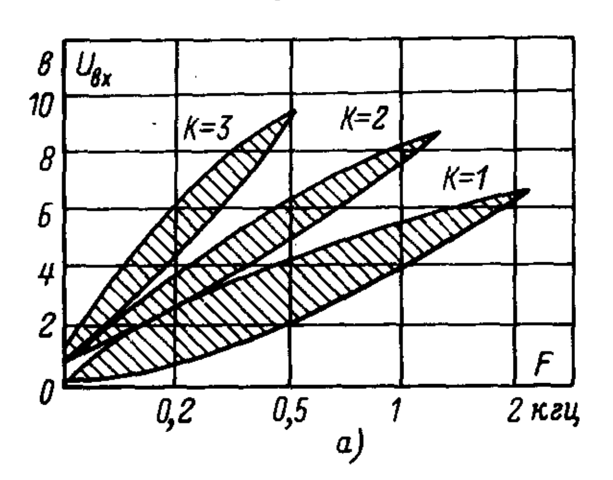
| Частота настройки камертона, *гц* | *l*, *мм* | *L*, *мм* | Частота настройки камертона, *гц* | *l*, *мм* | *L*, *мм* |
|---|---|---|---|---|---|
| 2093,1 | 22,8 | +30 | 2959,9 | 18,6 | +30 |
| 2217,4 | 22,1 | +30 | 3135,1 | 17,9 | +30 |
| 2344,3 | 21,4 | +30 | 3322,4 | 17,2 | +30 |
| 2489,0 | 20,7 | +30 | 3520,0 | 16,5 | +30 |
| 2637,0 | 20,0 | +30 | 3729,3 | 15,8 | +30 |
| 2793,8 | 19,3 | +30 | 3951,0 | 15,1 | +30 |

Для настройки камертона на нужную частоту подпиливают надфилем торцы его ветвей (если нужно повысить тон) или полукруглое углубление между ветвями (если тон необходимо понизить).

## 9. ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Делитель частоты — наиболее ответственный узел ЭМИ, так как из-за его неисправности нарушается работа всего инструмента. Число делителей иногда достигает 72—84. Поэтому при конструировании делителей частоты самым необходимым требованием должна быть совершенная их надежность. Безотказная работа делителей определяется, в первую очередь, правильным выбором схемы, наиболее подходящей для данного инструмента. С другой стороны, необходима большая тщательность при изготовлении и распайке блоков делителей частоты.

Делители частоты, применяющиеся в ЭМИ, принято подразделять на активные и пассивные. Активными называют такие делители, которые сами служат автогенераторами, а соответствующий режим деления получают путем синхронизации от источника колебаний, частота которых подлежит делению. В отличие от этой категории пассивные делители частоты не вырабатывают электрические сигналы без внешнего воздействия. Примером пассивных делителей частоты могут служить триггеры, мультивибраторы и блокинг-генераторы в заторможенном режиме, феррит-транзисторные и феррит-диодные ячейки.



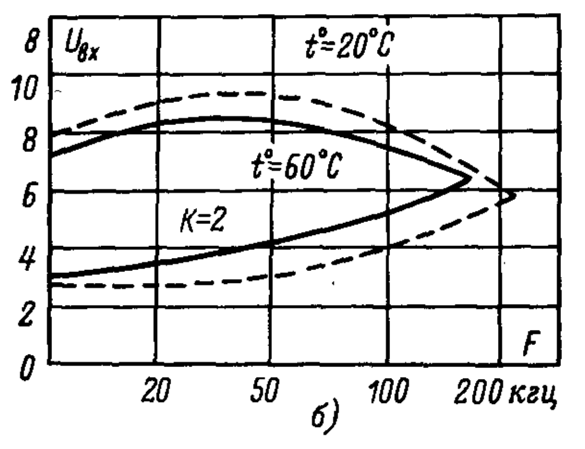




Рис. 35. Амплитудно-частотные характеристики делителей частоты.
*а* — мультивибратора; *б* — триггера.

Важным параметром любого делителя частоты является его амплитудно-частотная характеристика. Если по оси ординат откладывать амплитуду напряжения, подаваемого на вход делителя частоты (рис. 35), а по оси абсцисс — частоту входного напряжения, то можно получить определенные области деления частоты с различными коэффициентами. Например, для мультивибратора наиболее широкой амплитудно-частотной областью будет область синхронизации с коэффициентом $k=1$, когда частота выходного напряжения равна частоте входного. Область, в которой частота выходного напряжения вдвое ниже частоты входного ($k=2$), значительно уже; еще уже область, где $k=3$ и т. д. Так как в многоголосных ЭМИ почти всегда необходимо деление частоты с коэффициентом $k=2$, ограничимся рассмотрением соответствующих схем делителей частоты.

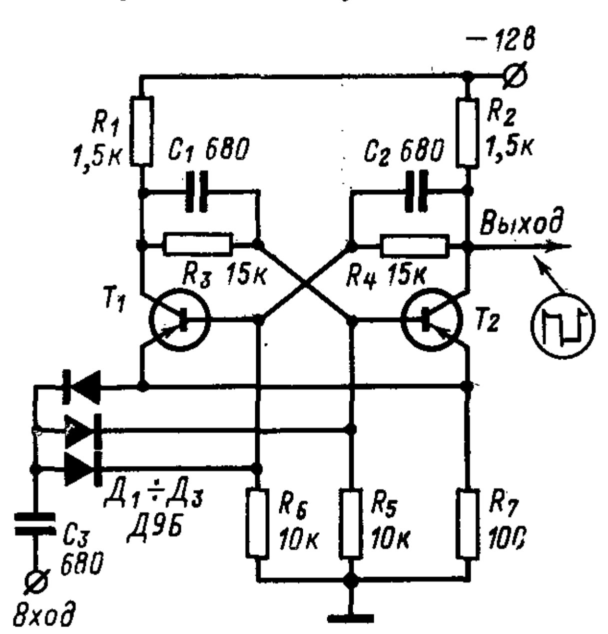


Рис. 36. Триггер в качестве делителя частоты.

При одинаковом входном напряжении активные делители обладают более узким частотным диапазоном деления. Пассивный делитель, например триггер, отлично работает в очень широком диапазоне частот, потому что собственная резонансная частота у него отсутствует. По этой причине следует предпочесть триггерные ячейки деления частоты автогенераторным. Однако у триггеров есть большой недостаток. Так как скважность импульсов выходного напряжения триггера равна 2, спектр таких колебаний почти не содержит четных гармоник, что придает звучанию инструмента характерный кларнетовый оттенок. Такой тембр при постоянном применении, особенно в аккордах, довольно неприятен, поэтому приходится применять специальные меры для преобразования формы выходного напряжения триггеров в другую, более приемлемую для ЭМИ. Тем не менее триггер — наиболее надежный и неприхотливый из всех делителей частоты. Одна из наиболее удачных схем его приведена на рис. 36.

Данные элементов схемы действительны для всего звукового диапазона частот и корректировки не требуют. В схеме применимы любые низкочастотные маломощные транзисторы. Триггер надежно работает, когда статические коэффициенты усиления по току обоих транзисторов равны, поэтому желательно подобрать все транзисторы попарно. При использовании транзисторов с $\beta\leqslant 20$ сопротивления резисторов $R_3$ и $R_4$ должны быть уменьшены до 12 *ком*. Запускающие диоды $Д_1$—$Д_3$ должны иметь возможно меньшее прямое сопротивление. Наиболее подходят для этой цели диоды Д9Б, так как их прямое сопротивление равно примерно 10 *ом*. Не исключается применение других типов диодов, в том числе плоскостных, однако следует иметь в виду, что при этом может потребоваться увеличить емкость конденсатора $C_3$ до 1 000 *пф*. Описанная схема применена в электромузыкальном инструменте «Эстрадин-6».

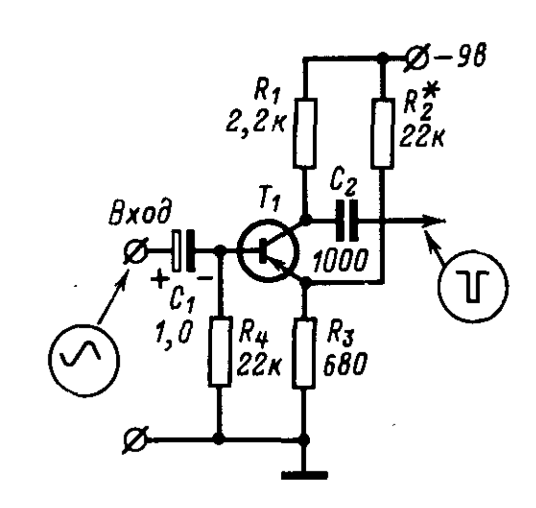


Рис. 37. Усилитель-ограничитель.

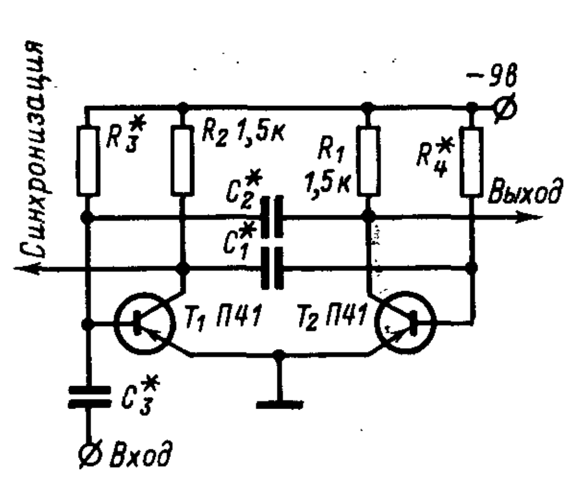


Рис. 38. Делитель частоты на мультивибраторе.

Нагрузочная способность триггера по постоянному и переменному току равна 10 *ком*, потребляемый ток — около 7—8 *ма*. Для достижения некоторого симметрирования нагрузки желательно выходной сигнал, используемый для получения звука, и сигнал, необходимый для запуска следующего делителя частоты, снимать с различных плеч триггера. Это значительно повысит надежность его работы. Триггеры запускаются импульсами с крутыми фронтами. Синусоидальное напряжение для этой цели непригодно. В то же время задающие генераторы многоголосных электромузыкальных инструментов для повышения стабильности строят, как уже было сказано, так, чтобы выходное напряжение их имело почти синусоидальную форму. В этом случае запустить триггер помогают различные преобразователи формы кривой напряжения, вырабатываемого задающим генератором.

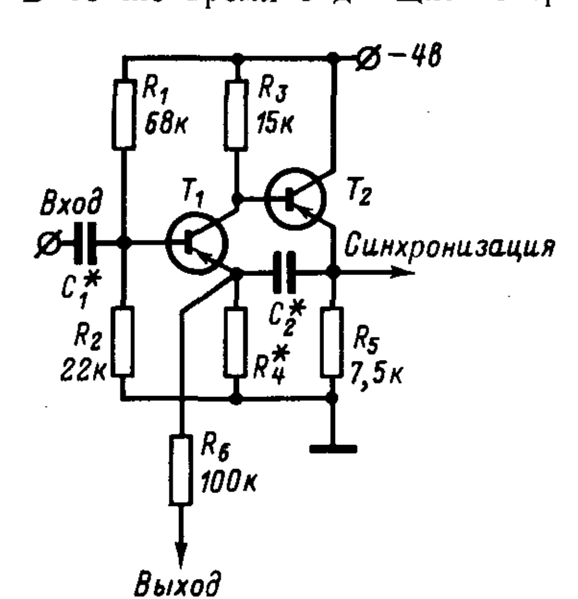


Рис. 39. Одноемкостный делитель частоты.

Таким преобразователем, а одновременно и буферным каскадом при использовании частот задающих генераторов для получения звука, может служить триггер Шмитта, реагирующий на уровень входного напряжения, или однотранзисторный усилитель-ограничитель (рис. 37). Усилитель нормально заперт отрицательным напряжением, поступающим на эмиттер с цепочки $R_2$—$R_3$, и отпирается приходящим сигналом. Скважность выходных импульсов его может быть в некоторых пределах изменена резистором $R_2$. Для каждого конкретного случая его сопротивление подбирают опытным путем. Конденсатор $C_1$ может быть электролитическим и иметь емкость, отличающуюся от указанной в схеме.

Большой интерес как делитель частоты представляет мультивибратор (рис. 38). Транзисторный мультивибратор хорошо синхронизируется и требует меньшее количество деталей, чем триггер. Важное преимущество его заключается в возможности получения последовательных прямоугольных импульсов с увеличенной скважностью, и следовательно, обладающих более развитым спектром. К недостаткам его относится необходимость применения для разных тонов частотозадающих элементов — конденсаторов $C_1$, $C_2$ и резисторов $R_3$, $R_4$ различных номиналов. Активный делитель частоты, каким и является мультивибратор, должен настраиваться так, чтобы частота его собственных колебаний была на 20—30% ниже требуемой частоты деления. Параметры частотозадающих элементов описываемого мультивибратора приведены в табл. 10. В даином случае скважность импульсов выбрана равной примерно пяти. При любой другой возможной настройке мультивибратора резисторы $R_3$ и $R_4$ не следует брать более 39 *ком*, так как это может привести к жесткому режиму самовозбуждения делителя, что особенно часто случается, если транзисторы имеют большой коэффициент усиления по току. С другой стороны, небольшие сопротивления базовых резисторов предопределяют значительные емкости конденсаторов $C_1$, $C_2$, достигающих на более низких частотах 1 *мкф*. Это ведет к тому, что даже при использовании малогабаритных конденсаторов типов БМ и МБМ, размеры ячейки мультивибратора превышают размеры триггерной ячейки. Положение могут исправить малогабаритные электролитические конденсаторы, ио их применение ограничивается большим разбросом параметров.

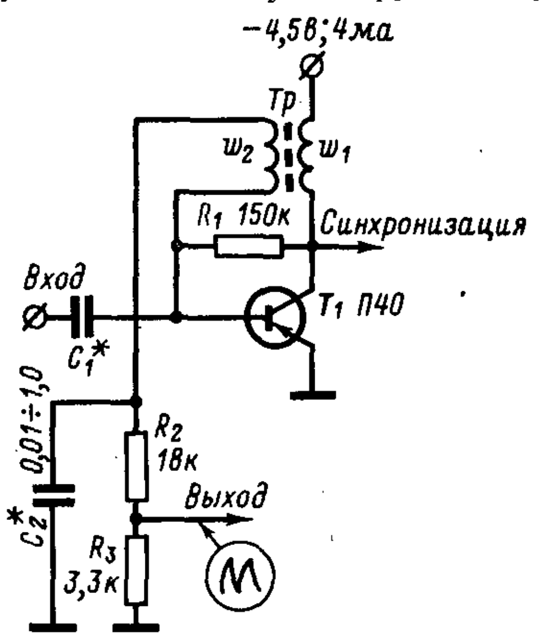



Рис. 40. Делитель частсты на блокииг-геиераторе.

Гораздо меньше по размерам ячейка мультивибратора, собранная по другой схеме (рис. 39), благодаря тому, что в ней применен лишь один частотозадающий конденсатор. Мультивибратор вырабатывает пилообразное иапряжение, снимаемое с эмиттера транзистора $T_1$; для синхронизации последующих делителей частоты целесообразно снимать прямоугольные импульсы с эмиттера транзистора $T_2$. Частоту иастройки мультивибратора можно широко варьировать, изменяя сопротивление резистора $R_4$ от 2,7 до 150 *ком* и более, что в свою очередь позволяет применить малогабаритный конденсатор $C_2$. Даиный мультивибратор мало чувствителен к измеиению напряжения синхронизации и работает устойчиво. Режим деления может быть подобран не только изменением емкости конденсатора $C_1$, но и изменением сопротивления резистора $R_1$, которое можно менять в больших пределах — от 36 до 82 *ком*. Ток, потребляемый делителем при указанном напряжении питания, не превышает 1—1,5 *ма*.

Конструкторы ЭМИ пытались применить для делителей частоты феррит-диодные и феррит-транзисторные ячейки. Но в практическом



*Таблица 10*

| Октава | *R, ком*<br>*C, мкф* | Тоны: *до* | *до-диез* | *ре* | *ре-диез* | *ми* | *фа* | *фа-диез* | *соль* | *соль-диез* | *ля* | *ля-диез* | *си* | *C*з*, пф* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вторая | $C_1$ | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 330—390 |
| | $C_2$ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | $R_3$ | 33 | 33 | 30 | 30 | 27 | 27 | 24 | 24 | 22 | 20 | 20 | 20 | |
| | $R_4$ | 33 | 30 | 30 | 27 | 27 | 24 | 24 | 22 | 22 | 22 | 20 | 18 | |
| Первая | $C_1$ | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 390—560 |
| | $C_2$ | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| | $R_3$ | 27 | 24 | 24 | 22 | 22 | 20 | 22 | 20 | 39 | 39 | 36 | 36 | |
| | $R_4$ | 27 | 27 | 24 | 24 | 22 | 22 | 20 | 20 | 39 | 36 | 36 | 33 | |
| Малая | $C_1$ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 470—680 |
| | $C_2$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | |
| | $R_3$ | 30 | 27 | 24 | 24 | 39 | 39 | 36 | 36 | 33 | 33 | 30 | 30 | |
| | $R_4$ | 27 | 27 | 27 | 24 | 39 | 36 | 36 | 33 | 33 | 30 | 30 | 27 | |
| Большая | $C_1$ | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 510—820 |
| | $C_2$ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | $R_3$ | 30 | 30 | 27 | 24 | 24 | 39 | 36 | 36 | 33 | 33 | 33 | 30 | |
| | $R_4$ | 30 | 27 | 27 | 27 | 24 | 39 | 39 | 36 | 36 | 33 | 30 | 30 | |

исполнении они оказываются более сложными, чем блокинг-генераторы. Классическая схема блокинг-генератора, применяемого для деления частоты, приведена на рис. 40. Он способен вырабатывать пилообразные колебания во всем диапазоне звуковых частот; настраивается он конденсатором $C_2$, емкость которого достигает 1—2 *мкф* на наиболее низких частотах. Выходное напряжение снимается с нижнего (по схеме) плеча делителя $R_2R_3$, предотвращающего чрезмерную нагрузку делителя частоты и, следовательно, возможные срывы синхронизации. Импульсный трансформатор блокинг-генератора можно выполнить на кольце из феррита (марки 600 НМ) диаметром 8 *мм*. Для этого достаточно намотать на кольцо 2×80 витков провода ПЭЛШО 0,1. Провод ПЭВ для этой цели непригоден, так как его изоляция может быть повреждена твердыми кромками кольца.

Ток, потребляемый делителем частоты при напряжении коллекторного питания 4,5 *в*, равен 4 *ма*. При срыве синхронизации или нарушении цепи обратной связи ток коллектора резко возрастает, что может привести к выходу из строя транзистора или импульсного трансформатора, включенного в цепь коллектора. С этой точки зрения более пригодна экономичная схема блокинг-генератора, показанная на рис. 41. При напряжении 7,2 *в* он потребляет ток лишь 0,25 *ма*, работа его более устойчива, хотя деталей для него требуется несколько больше. Положительная обратная связь здесь осуществляется конденсатором $C_3$, емкость которого регулируют так же, как и в предыдущей схеме. Импульсный трансформатор для этого блокинг-генератора можно изготовить, намотав на подстроечном сердечнике из феррита 2000 НМ диаметром 4,2 *мм* 300+300 витков провода ПЭВ 0,1. Применение незамкнутого сердечника очень упрощает изготовление большого количества катушек для делителей частоты.

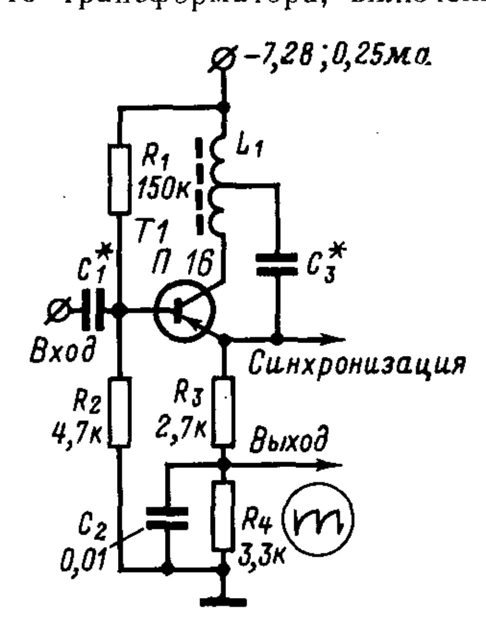



Рис. 41. Экономичный блокинг-генератор.

Интересна схема ступенчатого делителя частоты на блокинг-генераторе, переведенном в ждущий режим (рис. 42). Диапазон деления у нее намного шире, чем у блокинг-генераторов в возбужденном состоянии. Блокинг-генератор вырабатывает импульс, когда нарастающее ступеньками напряжение на конденсаторе $C_2$ превзойдет запирающее напряжение на эмиттере транзистора. Коэффициент деления подбирают изменением запирающего напряжения. Обмотки импульсного трансформатора содержат одинаковое количество витков.

Значительного сокращения элементов схемы делителя частоты можно добиться, применив кремниевые переключающие диоды (динисторы) Д227—Д228. Кроме этого, выходное напряжение делителей такого типа имеет пилообразную форму, наиболее подходящую для имитации органного звучания. Очень перспективны полупроводниковые приборы с участком отрицательного сопротивления вольт-амперной характеристики — туннельные диоды и т. д.



Рассмотрим теперь схему получения тонов для педальной системы электрооргана (рис. 43). Педальные системы выполняют, как правило, одноголосными с обратным выбиранием высоты тона. На контакты педалей, работающие на переключение, подают тоны от основного генераторного блока инструмента.

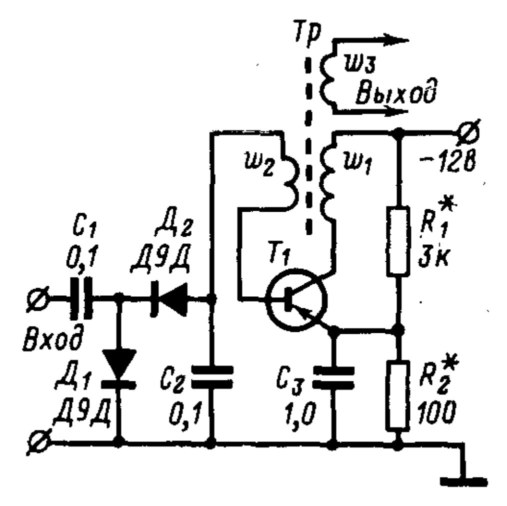



Рис. 42. Ступенчатый делитель частоты.

При нажатии одной из педалей напряжение соответствующей частоты попадает на усилительный каскад, в котором все сигналы для запуска делителей частоты приводятся к одному уровню. Напряжение, поступающее на темброблок непосредственно с усилителя, образует регистр *8'*. На выходе триггера *1* получаются тоны, пониженные на октаву и относящиеся к регистру *16'*. Регистр *32'* легко образуется при включении еще одного триггера *2*. Музыкальная ценность регистра *32'*, диапазон которого начинается с субконтроктавы, несомненна, однако его целесообразно применять, если усилитель и акустическая система инструмента способны воспроизводить

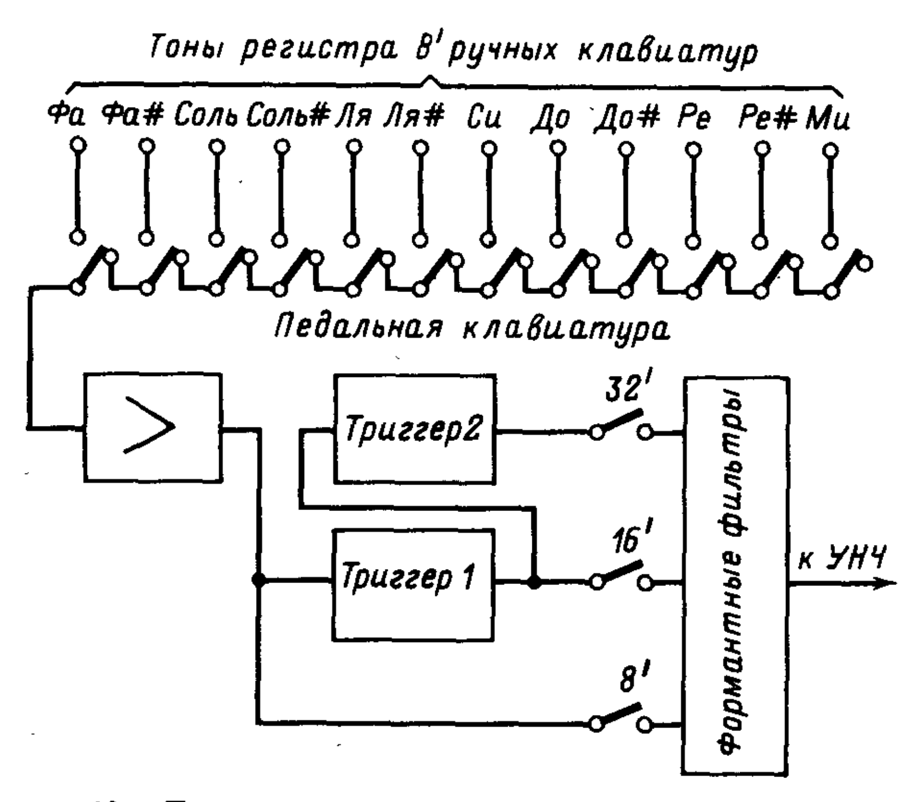



Рис. 43. Делитель частоты для педальной клавиатуры.

частоты, начиная с 16—20 *гц*. Этот делитель частоты можно применить не только для педалей, но и для клавиатуры, сделав, например, одну самую нижнюю октаву инструмента одноголосной.

## 10. ШУМОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Различного рода шумовые генераторы применяют в электромузыке для создания ритмического и ударного аккомпанемента. Известны, например, имитаторы звучания барабанов, тарелок, маракасов и т. д.

Генератор «белого» шума (рис. 44), который был применен в шумовом ЭМИ для имитации воя ветра, представляет собой трех-

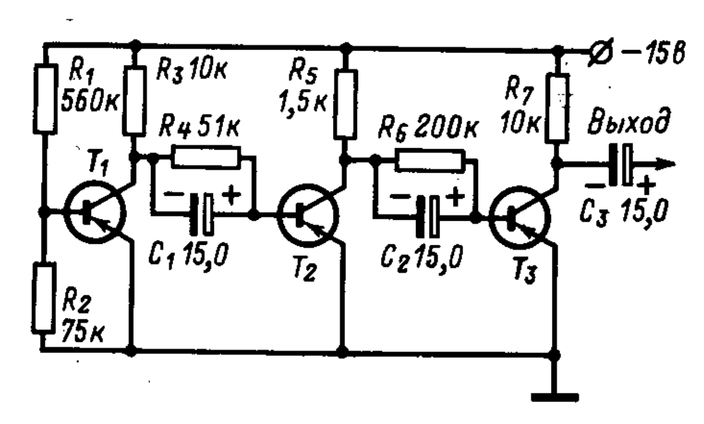



Рис. 44. Генератор «белого» шума.

каскадный усилитель. Эффективное значение напряжения шумов на его выходе составляет 5—6 *в*. Известно, что характер «белого» шума имеют тепловые и дробовые шумы транзистора, которые тем больше, чем больше сопротивления коллектора $r_к$ и базы $r_б$ и чем выше неуправляемый ток коллектора $I_{к0}$ и напряжение на нем. Поэтому напряжение источника питания в данной схеме не должно быть меньше 15 *в*. Первый транзистор $T_1$ нужно подобрать с возможно большим обратным током коллектора. В схеме хорошо работают импульсные транзисторы, а также транзисторы МП39, у ко-

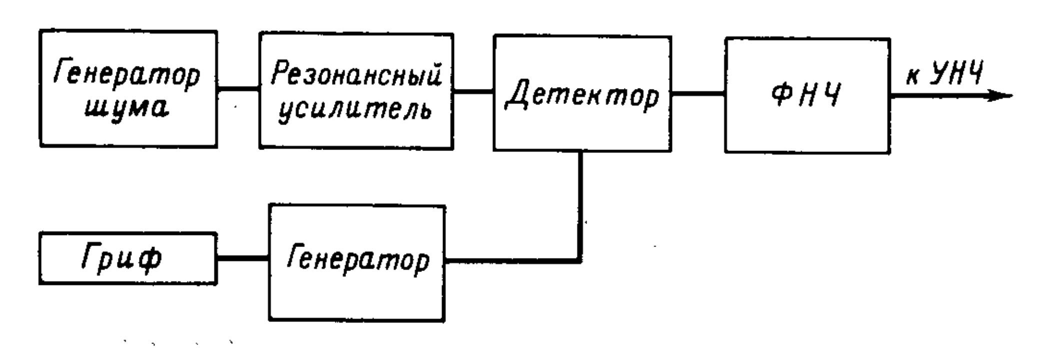



Рис. 45. Блок-схема «Шумофона».

торых сопротивления $r_к$ и $r_б$ имеют максимальные значения при нормальной температуре окружающей среды +20° С.

В качестве имитатора генератор шума подключают к параллельному высокодобротному резонансному контуру с переменной индуктивностью (лабораторному автотрансформатору). Отфильтрованная полоса шума подводилась к усилителю НЧ. Для получения более четкой интонации полоса шума должна быть возможно уже. В электромузыкальном инструменте «Шумофон» И. Д. Симонов использовал высокочастотный способ получения узкой полосы шума [Л. 26]. Блок-схема этого устройства приведена на рис. 45. Шумо-



вой генератор, вырабатывающий «белый» шум, соединен с резонансным усилителем ультразвуковой частоты, с помощью которого выделялась узкая полоса частот в диапазоне 19,7 *кгц*. Выход резонансного усилителя соединен с детектором, на который одновременно воздействовал генератор, управляемый грифом. Частота его из-

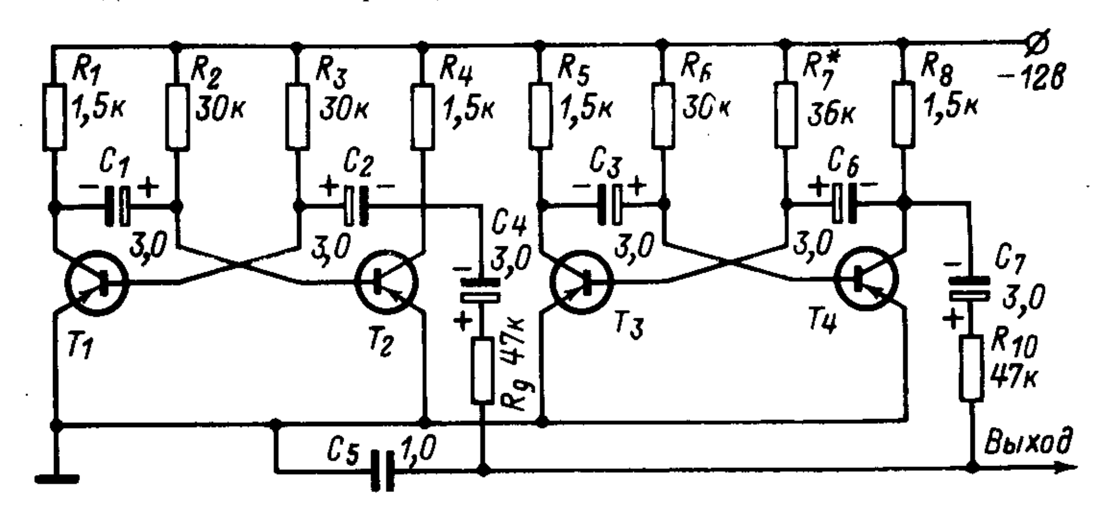



Рис. 46. Генератор для имитации маракасов.

менялась от 15,6 до 19,6 *кгц*. На выходе детектора появлялось напряжение, частота которого равна разности частот генератора шума и генератора с грифовым управлением. Остатки высокочастотного напряжения подавлялись фильтром нижних частот (ФНЧ).

В идеальном случае, когда полоса шума очень мала, можно добиться настолько большой ее интонационной определенности, что становится возможным создание инструмента, формирующего звук методом «выбора из шума». Для изготовления такого инструмента понадобятся электромеханические фильтры с чрезвычайно узкой полосой пропускания (6—7 *гц*). Следует ожидать очень красивого звучания такого инструмента, так как спектр его звука будет подобен спектру звука многих инструментов, звучащих в унисон.

Рис. 47. Генератор для имитации барабана.

Для имитации различных ударных инструментов — тарелок, маракасов и др. можно применить другой тип генератора шума, схема которого показана на рис. 46. Здесь работают два мультивибратора, настроенных на низкие (16—20 *гц*), частоты, близкие одна к другой. Эти частоты должны быть выбраны таким образом, чтобы период повторения суммарного колебания был по возможности более длительным. Развязывающие резисторы в цепи суммирования колебаний должны иметь сопротивление, достаточное для предотвращения взаимной синхронизации мультивибраторов. Имитация звучания того или иного инструмента получается удовлетворительной лишь в случае правильной манипуляции шумом.

Для имитации звучания барабана можно с успехом применить ждущий мультивибратор (рис. 47), включаемый контактом *К*. На выходе его следует включить либо контур с большой добротностью, либо резонансиый усилитель со звенящим контуром. Частота настройки этого контура определяет размер барабана, звук которого имитируется.

## 11. НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ В ЭМИ

Новые полупроводниковые приборы: туннельные диоды, диоды типа *p-n-p-n,* тиристоры, полевые транзисторы — открывают дополнительные возможности конструкторам ЭМИ. Одна из них заключается в значительном сокращении числа элементов в генераторной основе. Несомненно, что совершенствование технологии производства этих приборов приведет со временем к их удешевлению, поэтому уже сейчас разработка генераторов звуковой частоты на туннельных диодах или динисторах представляет большой интерес.

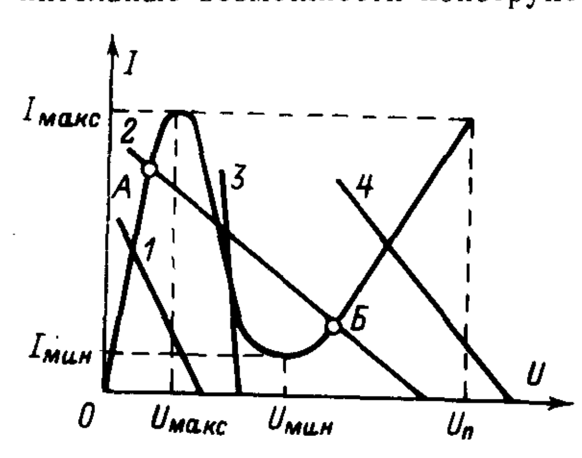



Рис. 48. Характеристика туннельного диода.

Туннельные диоды выгодно отличаются широким интервалом рабочих температур, малыми габаритами, весом и незначительным потреблением энергии. Основные параметры туннельного диода определяются его вольт-амперной характеристикой, которая имеет участок с отрицательным сопротивлением, на котором ток уменьшается с возрастанием напряжения (рис. 48). Важнейший из этих параметров — модуль отрицательного дифференциального сопротивления диода на падающем участке характеристики:

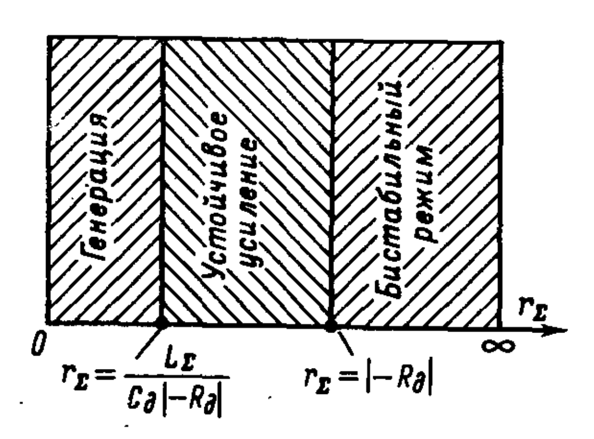



Рис. 49. Режимы работы туннельного диода.

$$|-R_д| = \frac{du}{di}.$$

Так как величина дифференциального отрицательного сопротивления сильно зависит от выбора рабочей точки, то чаще всего пользуются минимальным значением его — интегральным отрицательным сопротивлением:

$$|-R'_д| = \left|\frac{U_{макс} - U_{мин}}{I_{макс} - I_{мин}}\right|.$$



Падающий участок вольт-амперной характеристики позволяет использовать туннельный диод в четырех режимах: усиления, генерации, моностабильном (ждущем) и в бистабильном. Если нагрузочная прямая, положение которой зависит от выбора смещения $U_{см}$ на диоде и суммарного сопротивления $r_\Sigma$, включенного последовательно с диодом, пересекает падающий участок (прямые *2* и *3*), то возможны следующие режимы работы туннельного диода (рис. 49). Если суммарное сопротивление $r_\Sigma$ связано неравенством

$$0 < r_\Sigma < \frac{L_\Sigma}{C_д|-R_д|},$$

где $L_\Sigma$ — полная индуктивность схемы (индуктивность выводов диода плюс специально включенная индуктивность), а $C_д$ — собственная емкость, то туннельный диод находится в режиме генерации, причем амплитуду и форму генерируемых колебаний можно изменять в широких пределах.

Из условия генерации видно, что построить генератор низких частот без применения специально включенной индуктивности практически невозможно, так как собственная индуктивность диода пренебрежимо мала. Это обстоятельство несколько снижает целесообразность применения туннельных диодов, так как изготовление большого числа моточных изделий разных номиналов — работа весьма трудоемкая. Однако, если выбирать между блокинг-генераторами на транзисторах и туннельными диодами, то предпочтение все же следует отдать последним.

Рис. 50. Схемы на туннельных диодах.

*а* — генератор синусоидальных колебаний; *б* — делитель частоты типа мультивибратора; *в* — триггерный делитель частоты.

Схема задающего генератора синусоидальных колебаний приведена иа рис. 50,*а*. Для получения синусоиды нужно снижать отношение *L/C*. Рассчитать частоту генерации можно по приближенной формуле, которая не учитывает влияния собственных индуктивности и емкости диода:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

Повышения стабильности частоты удается добиться неполным включением контура в схему. Как показали исследования, оптимальный коэффициент включения контура равен приблизительно 0,1—0,15. Напряжение смещения при этом должно быть достаточно хорошо стабилизировано. На наш взгляд, наиболее целесообразно в качестве источника смещения применить компенсационную схему,

состоящую из двух полупроводниковых стабилизаторов напряжения, включенных встречно.

В качестве делителя частоты можно применить релаксатор (рис. 50,*б*) в автоколебательном режиме. Период его релаксации можно рассчитать по формуле, полученной при линеаризации вольт-амперной характеристики диода:

$$T = \frac{L_\Sigma}{r_{\Sigma 1}} \ln \frac{U_{\text{см}} - r_{\Sigma 1} I_{\text{мин}}}{U_{\text{см}} - r_{\Sigma 1} I_{\text{макс}}} + \frac{L_\Sigma}{r_{\Sigma 2}} \ln \frac{U_{\text{п}} + I_{\text{макс}} r_L - U_{\text{см}}}{U'_{\text{п}} + I_{\text{мин}} r_L - U_{\text{см}}},$$

где $L_\Sigma \approx L$; $r_{\Sigma 1}$ — полное активное сопротивление схемы в низковольтном состоянии

$$r_{\Sigma 1} = \frac{0,75 U_{\text{макс}}}{I_{\text{макс}}} + r_L;$$

$r_{\Sigma 2}$ — полное активное сопротивление схемы в высоковольтном состоянии

$$r_{\Sigma 2} = \frac{U_{\text{п}} - U'_{\text{п}}}{I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}} + r_L;$$

$r_L$ — собственное активное сопротивление катушки индуктивности; $U_{\text{п}}$ — прямое напряжение на диоде, соответствующее точке, когда диффузный ток достигает значения $I_{\text{макс}}$ (см. рис. 48); $U'_{\text{п}}$ — приведенное напряжение

$$U'_{\text{п}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{мин}}}{2}.$$

Этот же релаксатор может работать в ждущем режиме, если $U_{\text{см}}$ выбрать так (см. рис. 48), чтобы нагрузочная прямая пересекала вольт-амперную характеристику туннельного диода в одной точке на восходящей ее ветви, причем безразлично, низковольтной *1* или высоковольтной *4*, так как от этого зависит лишь полярность выходных импульсов.

Если нагрузочная прямая пересекает характеристику диода в трех точках *2*, то туннельный диод может находиться в двух устойчивых состояниях (точки *А* и *Б*). Поэтому на одном диоде триггер принципиально возможен (рис. 50,*в*), однако работа его неустойчива и для запуска требуется довольно значительная амплитуда импульса (1—1,5 *в*). Таким образом, после каждого диода необходим усилитель-формирователь на транзисторе.

Рис. 51. Вольт-амперная характеристика динистора.

Динисторы представляют собой четырехслойные полупроводниковые структуры типа *p-n-p-n*. Типичная вольт-амперная характеристика динистора приведена на рис. 51. На участке *0—1* ток через диод практически неизменен и не превышает 5—10 *мка*. В точке *1* дифференциальное сопротивление прибора резко уменьшается до нуля и продолжает падать, переходя на участке *1—2* в область отрицательных значений. Участок *2—3* имеет положительное дифференциальное сопротивление, не превышающее единиц ом. Остаточное падение напряжения на динисторе $U_{\text{ост}}$ для многих приборов равно приблизительно 0,5 *в*.



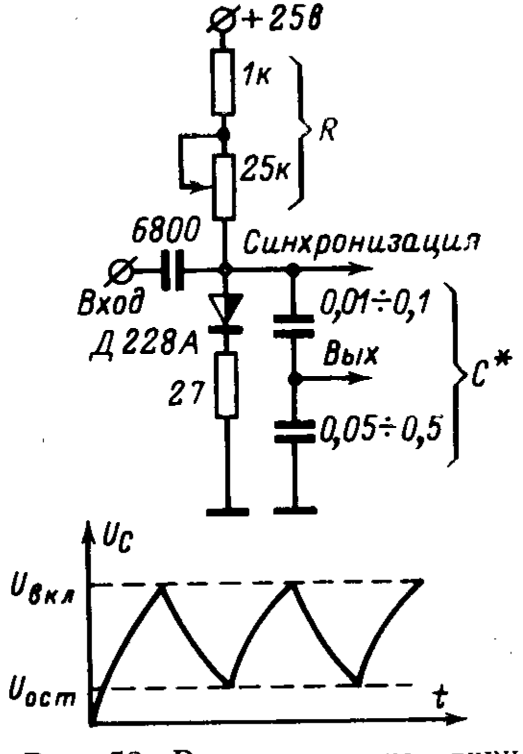



Рис. 52. Релаксатор на динисторе.

Для конструкторов ЭМИ интересна наиболее простая схема автогенератора пилообразных колебаний на динисторе, аналогичная схеме делителя частоты на неоновой лампе (рис. 52). Для нормальной работы этой схемы необходимо, чтобы напряжение питания было выше напряжения включения динистора $U_{\text{вкл}}$. В исходном состоянии динистор включен и конденсатор *С* заряжается по экспоненте через резистор *R*. Когда напряжение на нем достигает значения $U_{\text{вкл}}$, динистор пробивается и конденсатор быстро разряжается через динистор, пока ток разряда не достигнет некоторой величины $I_{\text{выкл}}$ (приводится в паспорте), при этом динистор снова возвращается в выключенное состояние. Амплитудное значение выходного напряжения равно

$$U_m \approx U_{\text{вкл}} - U_{\text{ост}}.$$

Последовательно с динистором нужно включать резистор небольшого сопротивления (20—50 *ом*) для ограничения экстратоков через него в момент начала разряда конденсатора. Для увеличения нагрузочных свойств схемы конденсатор *С* можно выполнить в виде делителя напряжения, с узловой точки которого и снимается выходное напряжение. Частоты автоколебаний генератора можно приближенно рассчитать по формуле

$$F = \frac{1}{RC \ln \frac{E - U_{\text{ост}}}{E - U_{\text{вкл}}}}.$$

Рис. 53. Комбинированная схема ждущего делителя частоты.

Для динисторов Д228 $U_{\text{ост}} = 1,5$ *в*.

Интересна также схема ступенчатого делителя частоты на основе гибридного включения транзистора и динистора (рис. 53).

Благодаря тому, что ток утечки динистора (в запертом состоянии) чрезвычайно мал, можно на параллельно включенном конденсаторе накапливать заряд порциями, пока напряжение на нем не достигнет $U_{\text{вкл}}$. На этом прин-

цепи легко реализуются делители с любым коэффициентом деления. Транзистор в этой схеме выполняет функции ключа, который в согласии с отпирающими входными импульсами снабжает энергией конденсатор *C*.

# Глава третья

# ТЕМБРООБРАЗОВАНИЕ

В настоящее время существуют два основных метода формирования тембра в электромузыкальных инструментах — субтрактивный и аддитивный.

Субтрактивный метод (от латинского subtraktiv — вычитание) предполагает создание тембра путем изменения соотношений между отдельными обертонами в спектре первоначального колебания (рис. 54,*а*) (спектре возбуждения), для чего применяют тембровые устройства с определенной частотной характеристикой (рис. 54,*б*). Естественно, что спектр возбуждения для создания большого количества тембров должен быть достаточно развитым. При субтрактивном методе из спектра возбуждения выделяется лишь часть энергии, необходимая для нужного тембра звука.

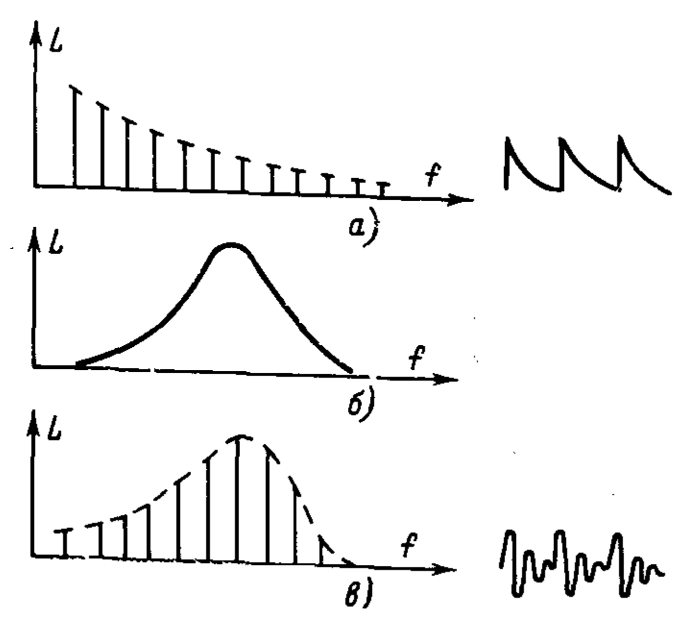



Рис. 54. Субтрактивный способ темброобразования.

*а* — спектр возбуждения; *б* — частотная характеристика тембрового устройства; *в* — результирующий спектр.

Аддитивный способ (от латинского слова additiv — сложение) заключается в том, что результирующий тембр формируется из нескольких исходных колебаний. При использовании синусоидальных колебаний с кратными частотами и регулируемыми амплитудами отдельных обертонов можно получить большое количество самых разнообразных тембров, которые невозможно воспроизвести обычными музыкальными инструментами. Такая разновидность аддитивного способа называется гармоническим синтезом тембра.

Иногда применяют колебания более сложной формы (прямоугольные, пилообразные). В этом случае будет происходить так называемый регистровый синтез (рис. 55). Результирующий спектр может формироваться также из негармонических обертонов, присутствие которых характерно для некоторых инструментов вибрафон, ксилофон), и из шумовых компонент.



У обоих методов синтеза тембра есть свои достоинства и недостатки. Субтрактивный метод характеризуется усилением обертонов в относительно узких полосах частот. Это приводит к неравномерной громкости звучания по всему диапазону инструмента. Исходя из этого, приходится выбирать менее крутые скаты частотной характеристики, что влечет за собой потерю яркости и индивидуальности тембра. Аддитивный способ более перспективен, как с точки зрения получения постоянства соотношения между амплитудами отдельных гармоник независимо от изменения высоты звука, так и с точки зрения получения новых звучаний, не имеющих аналогий в обычных механических системах. Однако трудности, лежащие на пути применения аддитивного способа, более значительны и, в первую очередь, из-за того, что он требует большого количества радиодеталей.

На практике чаще всего встречаются ЭМИ, в которых используются первый и второй методы одновременно. Это представляется разумным, так как аддитивный и субтрактивный способы дополняют друг друга.

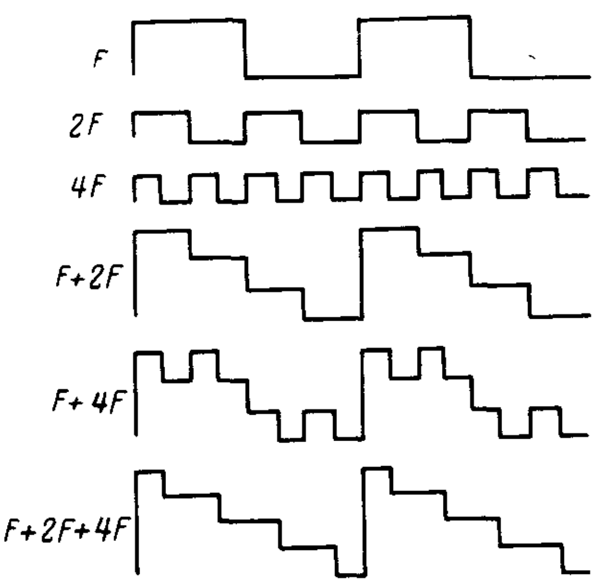



Рис. 55. Пример регистрового синтеза тембра.

## 12. СУБТРАКТИВНЫЙ СПОСОБ

**Спектры возбуждения.** Электронные генераторы электромузыкальных инструментов могут вырабатывать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные колебания.

Синусоидальные колебания не содержат обертонов; тембр синусоиды, холодный и мягкий в нижнем регистре и светлый в верхнем, имеет довольно ограниченное применение. Аналогичную форму колебаний имеет звук флейты при исполнении пиано, поэтому тембры, имеющие форму, близкую к синусоиде, называются флейтовыми. Ясно, что синусоида в чистом виде не годится для субтрактивного синтеза тембра, однако путем применения нелинейных цепей напряжение синусоидальной формы можно преобразовать в импульсное, содержащее большое количество обертонов. Для этой цели подходят схемы выпрямления, при помощи которых можно получить колоколообразные импульсы. Угол отсечки синусоиды оказывает решающее влияние на распределение энергии в спектре: при угле отсечки в 90° в нем отсутствуют нечетные гармоники (кроме первой), при угле отсечки, равном 30°, исчезает девятая и кратные ей гармоники. При двухтактном выпрямлении частота колоколообразных импульсов повышается вдвое. Это обстоятельство можно использовать для октавного удвоения мелодии.

Релаксационные генераторы — мультивибраторы, блокинг-генераторы — вырабатывают напряжение пилообразной формы. У этих колебаний энергия в спектре распределена почти равномерно (рис. 54), спад амплитуды двадцатой гармоники составляет при-

мерно 6—7 *дб*. По свидетельству специалистов пилообразные колебания наиболее хорошо подходят для имитации звучания органа и духовых инструментов.

Колебания прямоугольной формы применяют довольно широко Характер спектра этих колебаний зависит от скважности импульсов. В любом случае, если скважность равна $Q$, из спектра выпадают гармоники с номером $nQ$, где $n=1$, 2, 3 ... и т. д. Например, если скважность прямоугольных импульсов равна 4, то спектр имеет провалы на 4,8 и всех других, кратных четырем, гармониках. Если скважность равна двум, а такую импульсную последовательность вырабатывает триггер, то выпадают все четные гармоники. Выщербленность спектра выходных колебаний триггера очень заметна; тембр такого звука напоминает тембр кларнета. В электромузыкальных инструментах, где делители частоты выполнены по схеме триггера, желательно преобразовать спектр их колебаний в более развитый.

Схемы преобразователей прямоугольных колебаний в пилообразные приведены на рис. 56. Принципы работы обеих схем одинаковы.

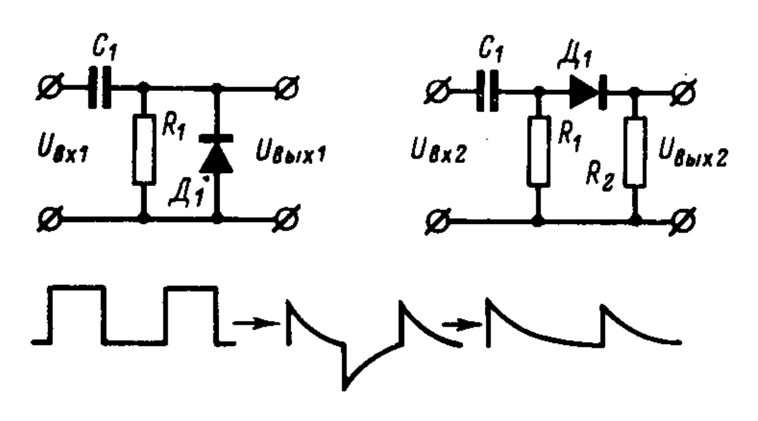



Рис. 56. Диодные преобразователи спектра.

С помощью цепочки $C_1$ и $R_1$ прямоугольные импульсы частично дифференцируются, а затем диод ограничивает отрицательный выброс напряжения. В транзисторных схемах триггеров, обладающих низким выходным сопротивлением, резистор $R_1$ можно брать порядка 10 *ком*, тогда емкость конденсатора $C_1$ изменяется в пределах 1,0—0,1 *мкф* в зависимости от частоты преобразуемых колебаний.

Иногда для имитации звучания струнных и духовых инструментов (например, валторны) может понадобиться прямоугольно-импульсное напряжение с повышенной скважностью. Для этой цели пригодны разнообразные формирующие цепи, известные из импульсной техники. В широком диапазоне частот для такого преобразования лучше всего подходят ждущие мультивибраторы, у которых соответствующим образом выбрана емкость времязадающего конденсатора.

**Полосовые фильтры.** Чтобы ограничить прохождение определенных обертонов, применяют различного рода полосовые фильтры. Музыкальное качество звука, как уже упоминалось в гл. 1, определяется быстротой спадания уровня высших обертонов, а интонационная определенность зависит от амплитуды первой гармоники. Поэтому



чаще всего применяют фильтры нижних частот (рис. 57). Простейший однозвенный *RC*-фильтр (*1*) работает плохо, хотя и заметно влияет на тембр. Рядом со схемами приведены частотные характеристики фильтров нижних частот, из которых видно, что спад характеристики однозвенного фильтра происходит очень плавно. Увеличить крутизну фронта спада можно, включив несколько звеньев (*2*), однако в такой цепочке затухание сигнала будет значительным.

Лучше всего работает *LC*-фильтр (*3*). Его частотная характеристика должна иметь форму *3*. Такая форма достигается применением катушки индуктивности с невысокой добротностью (около 3).

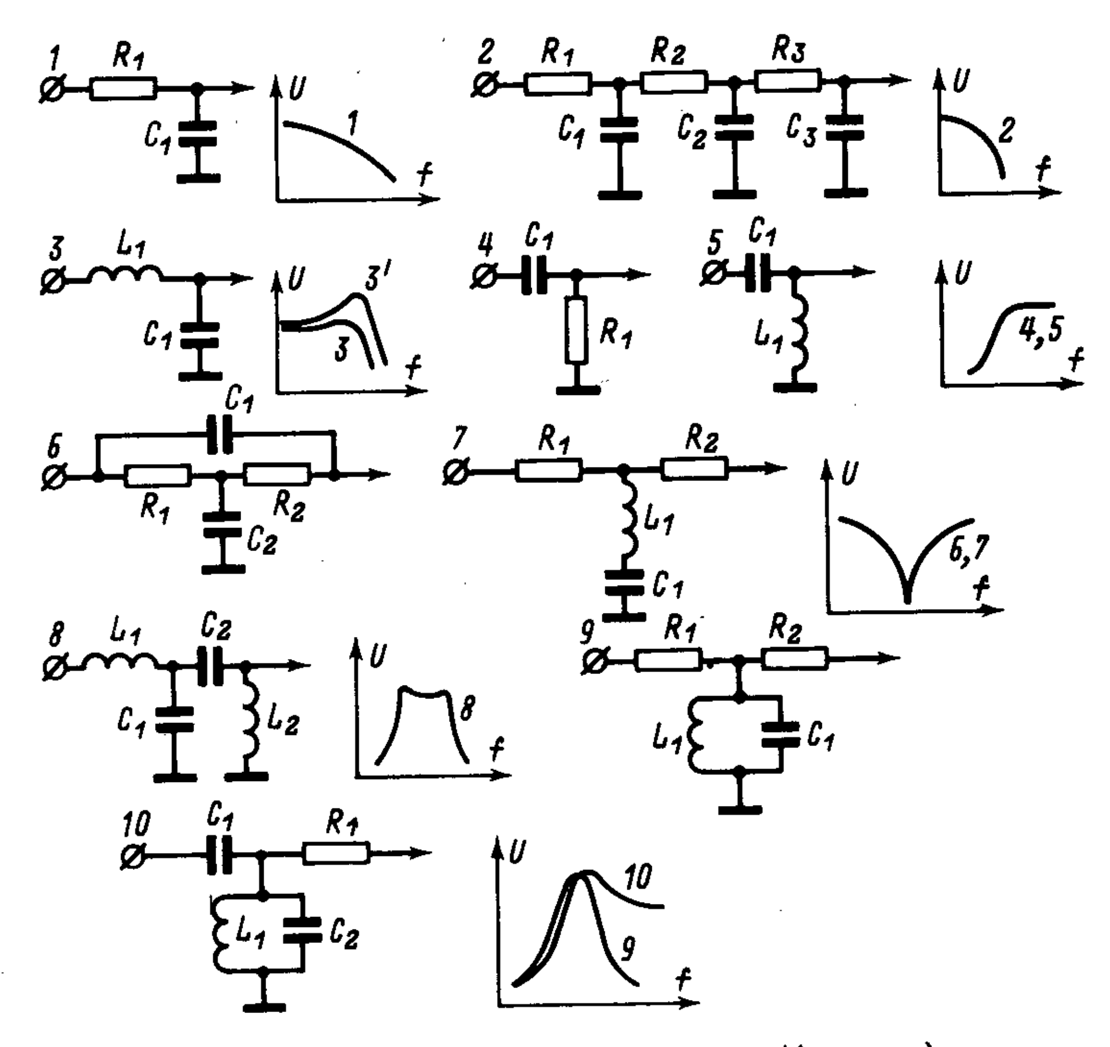



Рис. 57. Темброобразующие цепи (фильтры).

*1, 2, 3* — нижних частот; *4, 5* — верхних частот; *6, 7, 8* — полосовые; *9, 10* — формантные.

При более высокой добротности на частоте среза получается резонансный всплеск (*3'*). Для удовлетворительной работы *LC*-фильтра выходное сопротивление источника сигнала должно быть возможно меньше. Иногда его снижают искусственно, применяя эмиттерные повторители.

Фильтры нижних частот позволяют получить мягкие заглушенные тембры, особенно приятные в басовом регистре. Отдельно взятый такой фильтр может хорошо работать лишь в ограниченном диапазоне, когда частота среза фильтра $f_{ср}$ выше наименьшей частоты диапазона основных тонов $f_в$. В противном случае невозможно получить равномерную громкость на всех тонах данного диапазона.

Кроме того, интенсивная фильтрация обертонов при приближении к частоте среза приводит к потере равномерности тембра. Чтобы избежать этого, необходимо выбрать частоты среза примерно так, чтобы выполнялось условие

$$f_{ср} \geqslant 1{,}25 f_{в}.$$

Изменения частоты среза и, следовательно, тембра для данного диапазона добиваются переключением конденсаторов фильтра.

Фильтры верхних частот (*4—5*) применяют реже, в основном для получения оригинальных, гротескных тембров. Наиболее резкие тембры получаются при большом интервале между высшей частотой первой гармоники рабочего диапазона и частотой среза. Подавление первой гармоники может привести к ослаблению интонационной определенности звука, что нужно учитывать при выборе частоты среза.

Полосовые фильтры (*6—8*) служат для получения тембров с измененным уровнем как высших, так и низших обертонов.

Естественно, что *LC*-фильтры позволяют получить более крутые фронты характеристики, поэтому их влияние на тембр более заметно. При значительном сужении полосы пропускания таких фильтров их воздействие на исходный спектр колебаний будет аналогично формантному. Полосовые фильтры вида (*6*) и (*7*) часто применяют при имитации звучания различного рода струнных инструментов. Интонационная определенность звука в этом случае обеспечивается безусловно, если частота провала характеристики находится выше высшей частоты диапазона инструмента, кроме того, дальнейший подъем характеристики создает условия для хорошего прохождения высших частот. Провал выбирают обычно на частотах, нежелательных для воспроизведения. Так, в случае имитации струнных тембров частота провала должна быть равна 1 500 *гц*.

Формантные фильтры (*9—10*) представляют собой параллельные резонансные контуры. Различие этих фильтров состоит в степени ограничения обертонов со стороны высших частот, что показано на их частотных характеристиках.

Любые механические системы имеют чаще всего не одну, а несколько формантных областей, в зависимости от сложности их устройств. Для имитации звучания таких систем необходимо последовательно включать несколько формантных контуров (рис. 58,*а*), имеющих ряд пиков на частотной характеристике, соответствующих частотам настройки (рис. 58,*б*).

Очень интересный способ сочетания формантных контуров предложен А. А. Володиным. Для получения яркой звучности и выразительности тембра инструмента серию резонансных контуров тембролока настраивают на резонансные частоты, определяемые рядом коэффициентов: 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16 и т. д. Сущность получения положительного эффекта здесь состоит в том, что смежные частоты настройки находятся в интервале квинты (3/2) и кварты (4/3), а частоты через одну находятся в интервале октавы (2/1). Поэтому при любом положении спектра звука в полосе пропускания нескольких одновременно включенных формант в нем будут преобладать гармоники, находящиеся в тех же интервалах, что придает звуку повышенную консонантность.

Электромузыкальный инструмент «Экводин В-9», построенный по этому принципу, получил на Брюссельской выставке 1958 г. большую золотую медаль. Формантные контуры в нем были настроены на частоты 250, 375, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000, 6 000, 8 000 *гц*. Для получения того или иного тембра варьировалось количество включенных контуров и их параметры (затухание, относительное усиление). Схемы тембробразующих цепей (рис. 59) составлены по данным, приведенным в иностранной литературе. Об имитационном качестве тембров, образуемых этими цепями, нельзя говорить окончательно, не учитывая динамических возможностей инструмента, характера спектра, выходного сопротивления источника колебаний и характеристики нагрузки фильтров. Результирующий тембр всегда определяется совокупностью спектральных, динамических и громкостных факторов. Кроме того, нельзя оставлять без внимания частотную область применимости того или иного фильтра. Наиболее ярко его действие проявляется лишь в довольно ограниченной области частот, за пределами этой области чрезмерно фильтруются либо полезные частотные составляющие звука, либо усиливаются обертоны, искажающие задуманный конструктором характер тембра. Оценим с этих позиций схемы, приведенные на рис. 59.

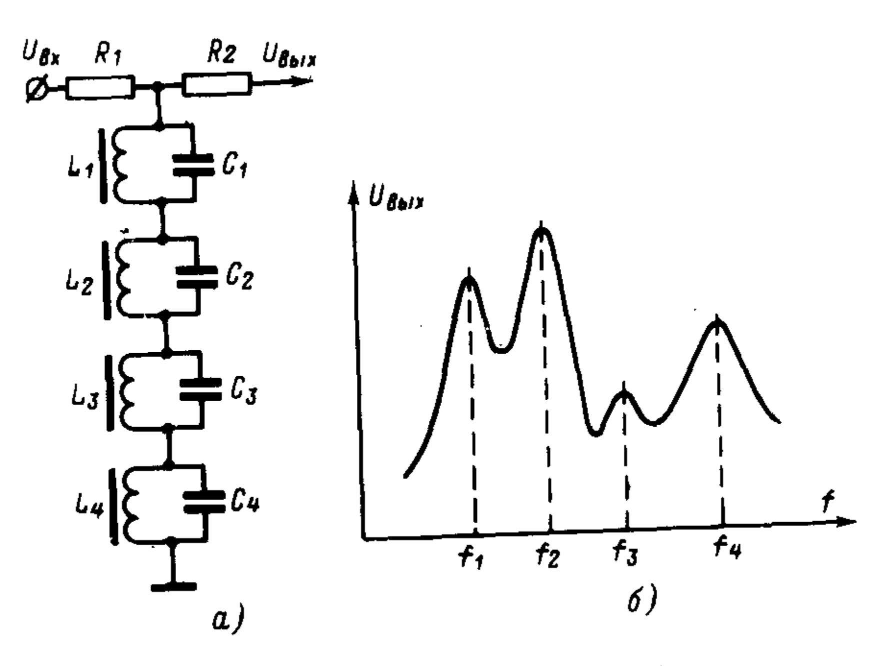



Рис. 58. Получение сложной частотной характеристики темброблока.

*а* — формантные контуры; *б* — частотная характеристика формантной цепи.

Корнет — медный духовой инструмент с тембром, родственным тембру трубы. С помощью изображенной формантной цепи его звучание имитируется неплохо при условии, если входное напряжение имеет пилообразную форму. Формантная область его расположена в зоне 2 000—2 500 *гц*, поэтому наиболее приемлемый регистр для этого тембра — 4′ (малая — вторая октавы). Сходство звучания электрического тембра с корнетом, равно как и с трубой, достигает максимума, если вслед за непродолжительной атакой звука наступает некоторое затухание. Это объясняется тем, что при игре на медных духовых инструментах наибольшее усилие музыкант затрачивает на извлечение звука. Для поддержания возникших звуковых колебаний нужно меньшее давление возуха. Поэтому после полу-

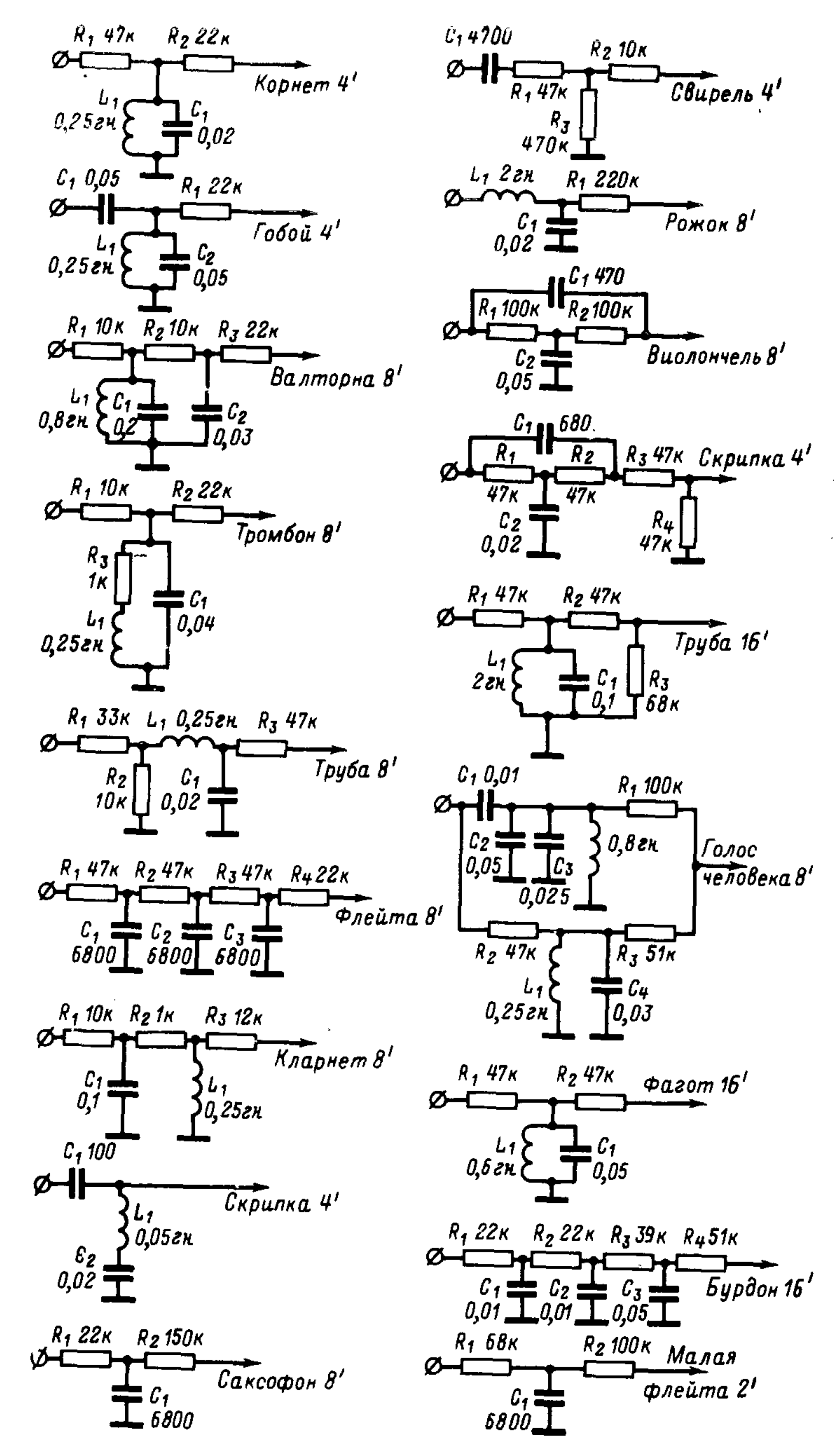



Рис. 59. Схемы темброобразующих цепей.

чения звука музыкант уменьшает силу дутья, что почти всегда приводит к некоторому спаду громкости. Подобная картина установления колебаний наблюдается и при игре на тромбоне, но частотная характеристика формантного контура (тромбон 8′), служащего для его имитации, имеет более пологий характер, благодаря резистору, снижающему его добротность.

Гобой 4′ — яркий тембр, несколько носового характера с формантой в области 1 000—1 500 *гц*. Возбуждающее напряжение для получения этого тембра также должно иметь пилообразную форму Валторна 8′ — мягкий приятный тембр, получающийся при подаче на вход фильтра прямоугольных колебаний со скважностью, равной четырем, или ступенчатого напряжения, полученного при сложении двух прямоугольных колебаний со скважностью, равной двум (см. рис. 55). Тембр кларнета с помощью формантной цепи может быть получен лишь при условии подачи на вход ее колебаний, в спектре которых отсутствуют четные гармоники.

Виолончель 8′ и скрипка 4′ — тембры струнного характера, характеризующиеся подавленными амплитудами обертонов, попадающих в область 1 500 *гц*. Полученные при помощи этих контуров тембры могут очень напоминать классические тембры при достаточно мягкой атаке и при плавном переходе от звука к звуку по высоте в момент исполнения.

Тембр голоса человека 8′ очень напоминает пение человека с закрытым ртом, особенно при достаточно глубоком вибрато. Два контура, составляющие эту формантную цепь — аналоги объемных резонаторов — полости рта (500 *гц*) и носоглотки (1 500—2 000 *гц*).

В регистре 16′ могут быть использованы тембры тубы и фагота. Последний отличается характерным, немного хриплым звуком; туба — довольно мягкий тембр. При ударном, затухающем, характере звуков эта же формантная цепь может быть успешно использована для имитации звучания контрабаса.

Бурдон — это басовый регистр духового органа, обладающего приятным тембром флейтового типа большой глубины и ясности. Регистр 2′ не позволяет получить в нем большого разнообразия тембров, так как большинство обертонов этого регистра попадают в неслышимую область частот. Часто используют тембр малой флейты— светлый флейтовый тембр.

### 13. АДДИТИВНЫЙ СПОСОБ

Учитывая ту особенность музыкального строя, что частоты, составляющие октавы, относятся как 1 : 2 : 4 : 8 и т. д., а интервалы квинта и кварта выражаются соотношениями 3/2 и 4/3 соответственно для синтеза сложного колебания в многоголосных ЭМИ можно использовать звуковые колебания, уже имеющиеся в его генераторной основе. Например, если принять тон *до* большой октавы за основу, то его второй гармоникой будет *до* малой октавы, третьей — *соль* малой октавы, четвертой — *до* первой октавы, пятой — *ми* первой октавы и т. д.

Следует оговориться, что в общепринятом темперированном строе частоты только октавных гармоник точно кратны друг другу. У всех третьих, пятых, шестых и т. д. составляющих частоты колебаний не будут в целое число раз больше частоты основного тона. Какие же темперированные тоны все же можно использовать для синтеза? Для ответа на этот вопрос достаточно вспомнить, что чело-

веческий слух способен уловить изменение высоты тона на 0,3%. Поэтому для «приближенно» гармонического синтеза могут быть рекомендованы только те тоны, отклонение которых по частоте от соответствующей гармоники не превышает этой величины. Следовательно, из первых 12 обертонов использовать 5, 7, 10 и 11 темперированные обертоны нежелательно, так как некратность их приведет к заметному нарушению слитности тембра.

Аддитивный метод синтеза тембра требует сложной системы коммутации. Если число регистров электромузыкального инструмента принять равным *m*, а число клавишей *n*, то общее число пар контактов, необходимых для коммутации *mn*, получится довольно большим. В электрооргане Хэммонда с гармоническим синтезом тембра

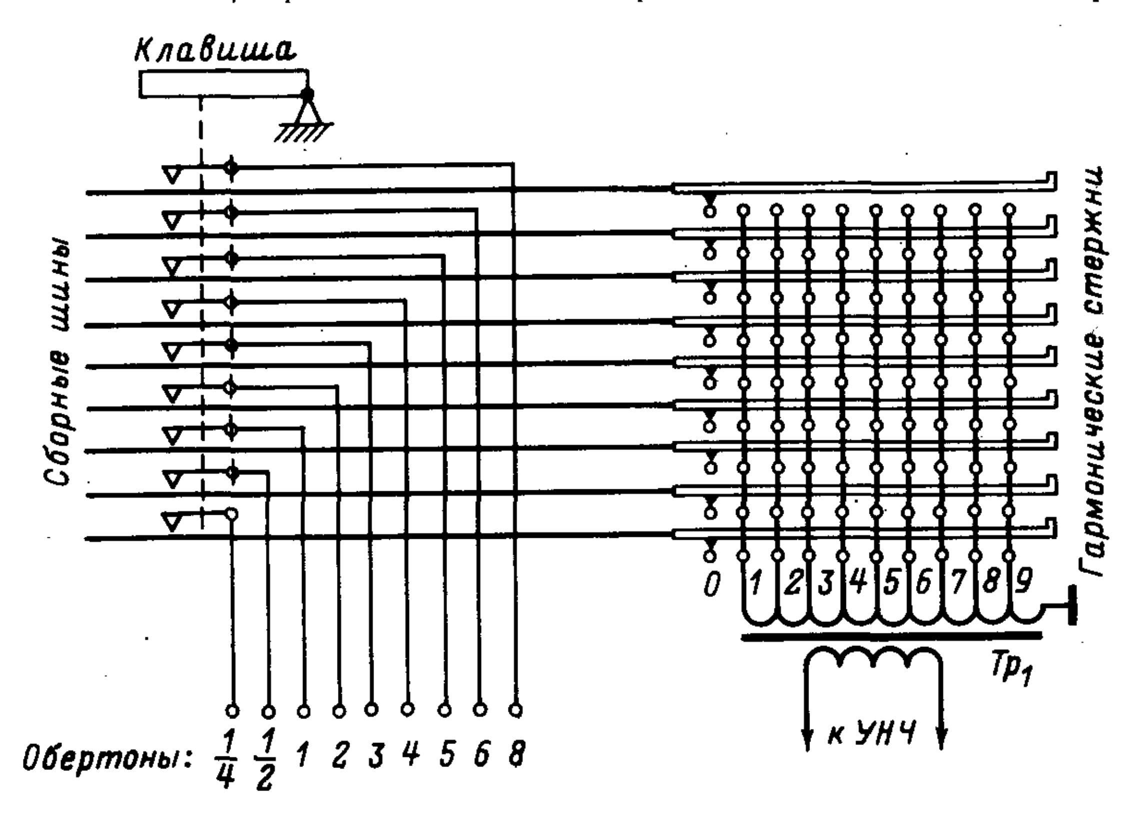



Рис. 60. Схема аддитивного синтеза в органе Хэммонда.

каждая клавиша связана с девятью контактами, включающими на сборные шины регистров сигналы двух субгармоник основного тона, второго, третьего, четвертого, пятого, шестого и восьмого обертонов. Амплитуду каждого из этих тонов можно плавно регулировать вытяжными гармоническими стержнями, переключающими первичную обмотку согласующего трансформатора $Тр_1$ усилителя *НЧ* (рис. 60) [Л. 14].

Конструкция клавишной контактной системы в электроорганах с аддитивным методом темброобразования приобретает первостепенную важность. На рис. 61 показан один из возможных вариантов контактной системы, хорошо себя зарекомендовавший. На рисунке показано лишь три контакта, связанных с клавишей, но при необходимости их число может быть увеличено. Контакты *д* изготовлены из посеребренной бронзовой проволоки диаметром 0,4 *мм*. Контактодержатель *г*, шинодержатель *б* и толкатель *а* можно изготовить из любого изоляционного пластика. Для сборных шин клавиатуры применена также посеребренная бронзовая проволока диаметром 0,8 *мм*.



Особое внимание при изготовлении такой контактной системы следует обратить на точность сверления отверстий под контактные проволочки и шины.

Другой способ, применяющийся в зарубежных электроорганах, состоит в том, что с клавишей инструмента связана лишь одна пара контактов, зато каждый переключатель регистра содержит *n* пар контактов. Естественно, что и первый и второй способы, даже при тщательном изготовлении и изысканности конструктивных решений, не позволяют получить надежно работающую клавишную контактную систему.

Замечено, что при одновременном включении октавных регистров электроорганы звучат ярко и сочно. Это позволило конструкторам создать простую и надежную систему коммутации. Выходы

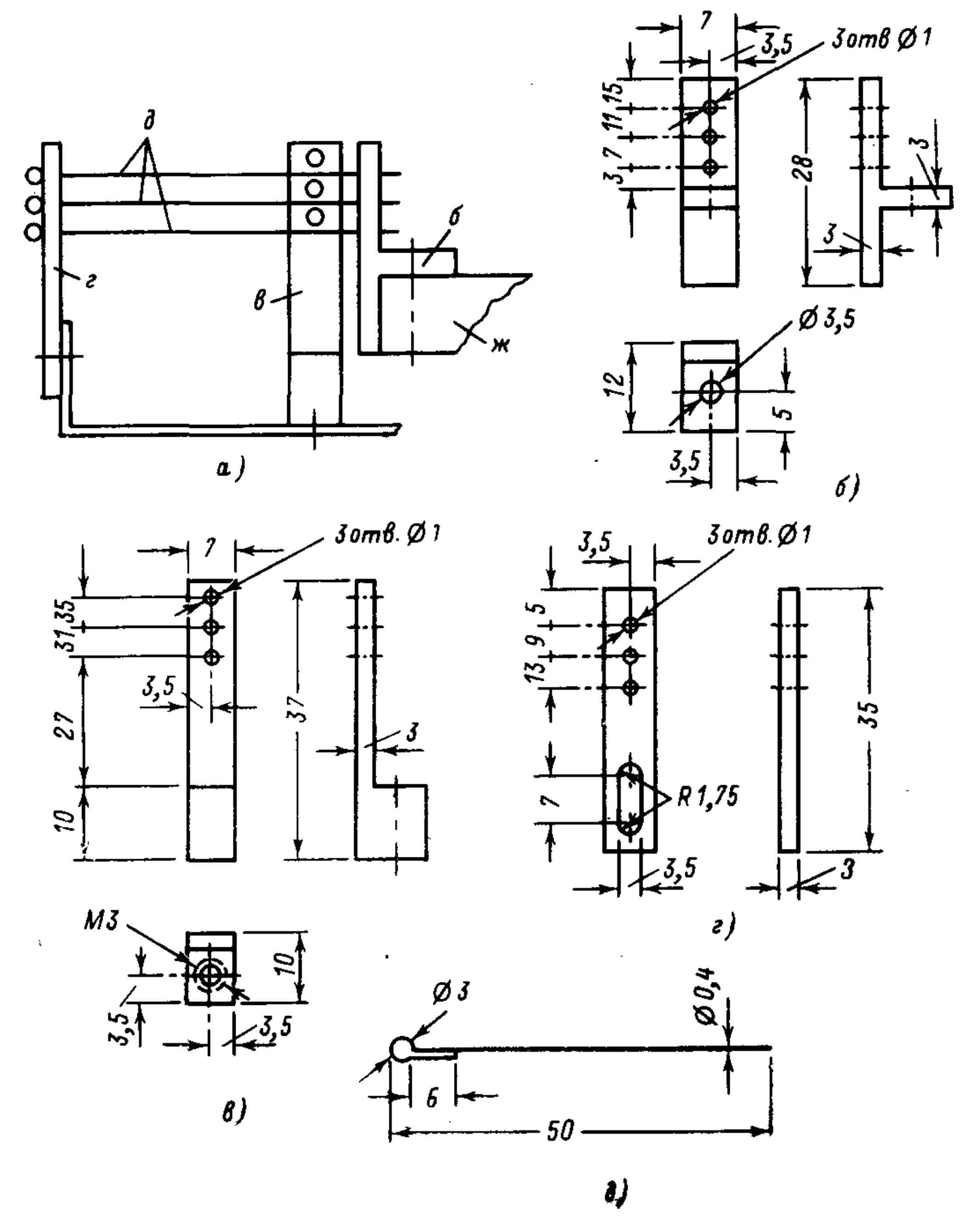



Рис. 61. Конструкция контактной системы клавиатуры.

**а — общий вид; б — толкатель; в — шинодержатель; г — контактодержатель; д — контакты; е — шины; ж — клавиши.**

Рис. 62. Диодный переключатель регистров.

октавных делителей частоты заранее соединяли друг с другом с помощью резисторов, «навсегда» формируя органное tutti. Таким был орган Лоури (США), в котором для включения звука требовалась лишь одна пара контактов на клавишу [Л. 12]. Развитие полупроводниковой электроники дало возможность найти простые и надежные схемы регистрового синтеза тембра. Например, в электрооргане «Эстрадин-6» применен переключатель регистров, в котором функции каждой пары контактов выполняет полупроводниковый диод (рис. 62). Выходы диодных переключателей подключают непосред-

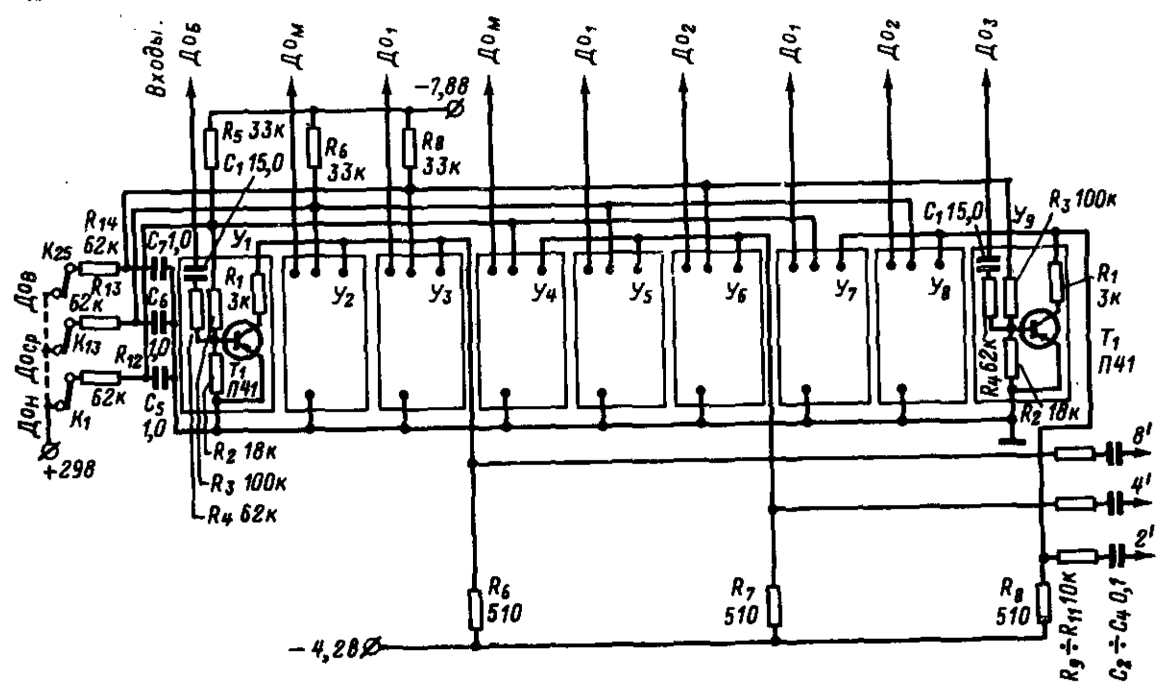



Рис. 63. Транзисторный переключатель регистров.

ственно к коллекторам транзисторных делителей частоты, которые могут быть выполнены по схемам мультивибраторов или триггеров. Вследствие гальванической связи с делителями на катоды диодов подается не только переменное, но и постоянное напряжение, которое отпирает диоды, если их аноды через переключатель регистра связаны с шасси. При этом переменная составляющая выходного напряжения делителей шунтируется малым сопротивлением диода. При выборе типа диода предпочтение следует отдавать тем, у которых наименьшее прямое сопротивление и наибольшее обратное. Хорошо работают в данной схеме диоды серии Д9. Конденсаторы $C_4$—$C_9$, во-первых, предотвращают проникновение в канал взятого звука напряжения соседних тонов, во-вторых, аннулируют щелчки, возникающие при переключении регистров. Если на аноды диодов одного из регистров подать запирающее напряжение (рис. 62,*б*), то, изменяя его, можно плавно регулировать выходное напряжение данного регистра. Подобный диодный переключатель применен и в отечественном электрооргане «Юность».

Регистровый синтез тембра можно осуществить и транзисторными электронными манипуляторами (рис. 63). При этом специальная схема клавишной коммутации позволяет получить мягкую атаку звука. Такой переключатель успешно применен в электрооргане «Рэтаккорд» (изобретатель Хэйне Кальмо).

Входы электронных манипуляторов подсоединены к делителям частоты, выполненным по схеме мультивибратора или блокинг-генератора. Через нормально замкнутые контакты клавиатуры на базы транзисторов подается положительное запирающее напряжение. При нажатии на одну из клавишей, например на *до* нижней октавы, конденсатор $C_5$ перезаряжается до некоторого отрицательного напряжения, и за это время транзисторы ключей $Y_1$, $Y_4$ и $Y_7$ постепенно отпираются. Их коллекторы подключены к различным выходам регистров.

Как уже указывалось, у тембров, сформированных из темперированных обертонов, отсутствует слитность. Это несомненный недостаток инструментов подобного типа. Если бы составляющие были

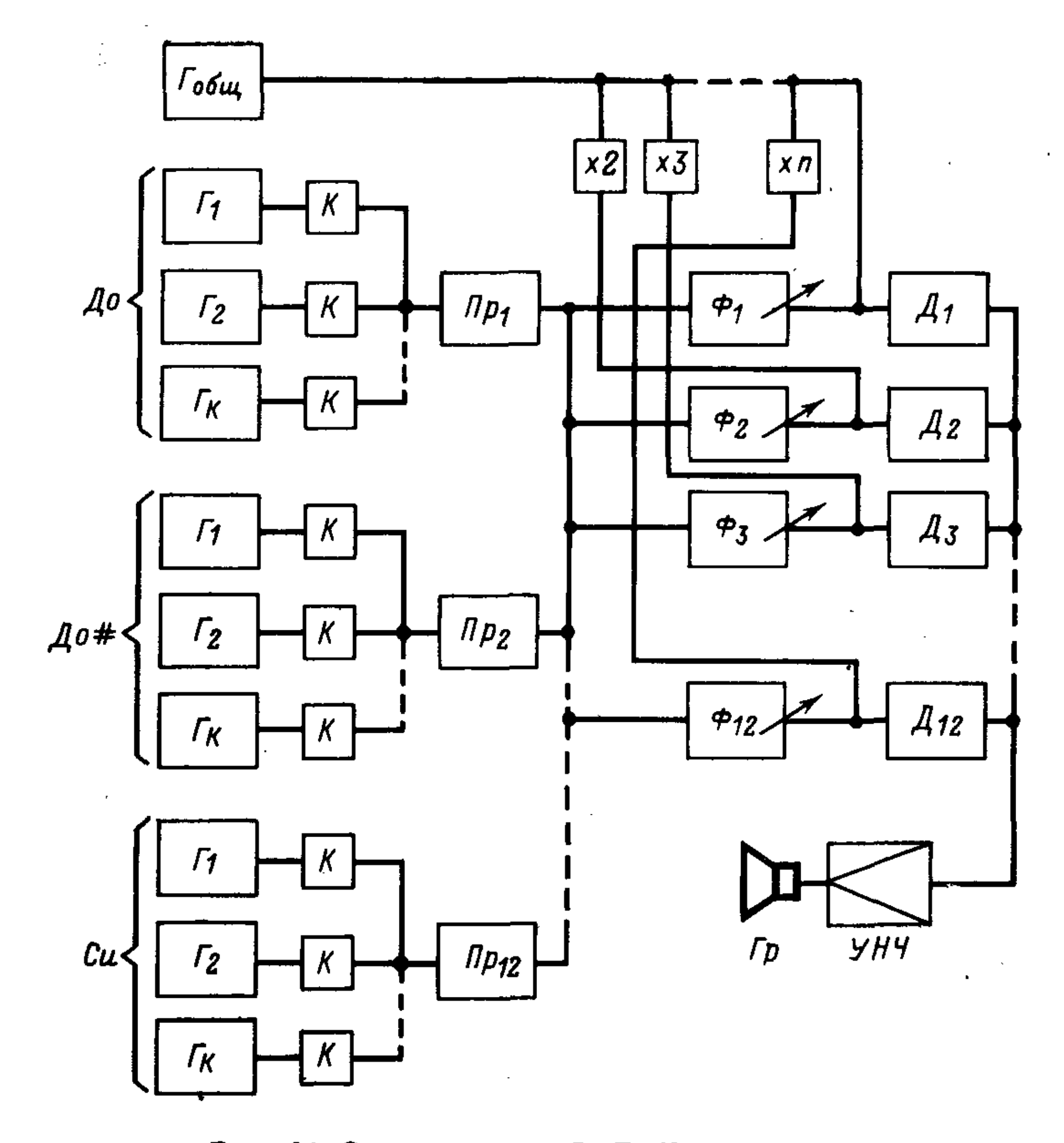



Рис. 64. Электроорган С. Г. Корсунского.

$Г_{общ}$ — общий генератор; $Г_1$—$Г_к$ — клавишные генераторы; *К* — клавиша; *Пр* — преобразователь; *Ф* — фильтр; *Д* — детектор; *УНЧ* — усилитель низкой частоты; *Гр* — громкоговоритель.

абсолютно чистыми, т. е. набирались из натуральных обертонов, то звучание инструмента было бы лишено всякой фальши. В 1960 г. С. Г. Корсунский предложил блок-схему электрооргана с гармоническим синтезом тембра (рис. 64). Основой схемы служат высоко-



частотные генераторы $Г_1$—$Г_к$ со стабилизацией частоты (например, кварцевой). На каждую клавишу *k* необходим один такой генератор. Выходы одноименных генераторов объединены и присоединены к преобразователю *Пр*, который видоизменяет форму выходного напряжения генераторов, делая его более богатым гармониками. Выходы всех преобразователей также объединены, и результирующее

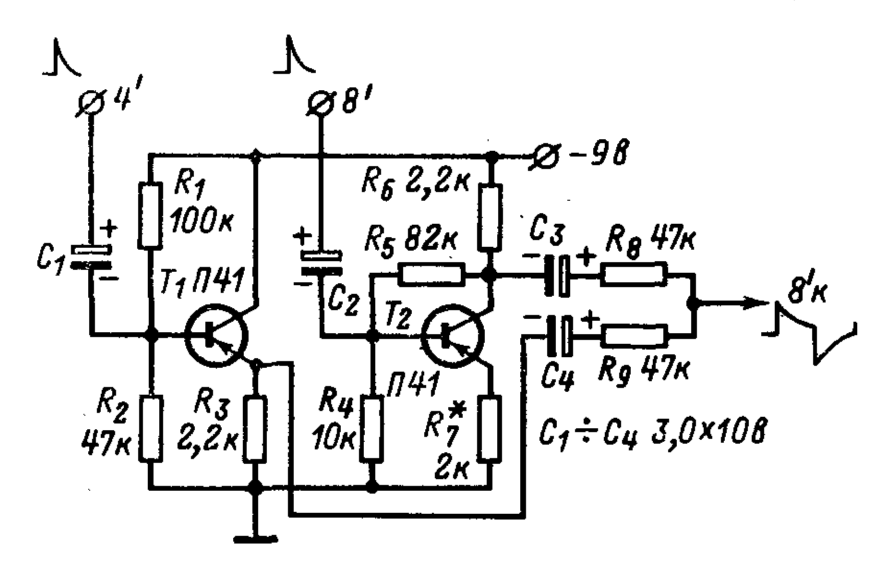



Рис. 65. Схема для получения тембров дробного спектра.

напряжение подано на систему из *n* фильтров. Каждый из этих фильтров имеет определенную полосу пропускания для выделения соответствующих гармоник по высокой частоте. Уровень каждой гармоники плавно регулируется. С выходов фильтров напряжение высокой частоты поступает на детекторы, куда одновременно подводится напряжение с канала общего генератора $Г_{общ}$. Если частота общего генератора выбрана, предположим, равной 20 000 *гц*, то клавишные генераторы $Г_1$—$Г_к$ должны иметь частоту 20 000+*f*, где *f* — частота соответствующей ноты по шкале ОСТ ВКС 7710. Так, генератор ноты *ля* первой октавы должен иметь частоту 20 440 *гц*. После преобразователей для этой же ноты имеем сумму напряжений с частотами 20 440, 40 880, 61 320 *гц* и т. д. Фильтр первой гармоники настраивают на частоту, близкую к 20 000 *гц*, и активная полоса пропускания его должна быть не менее диапазона инструмента по низкой частоте. При биениях отфильтрованной частоты 20 440 *гц* и частоты общего генератора 20 000 *гц* детектор выделяет разностную частоту 440 *гц*, которая и воспроизводится усилительным устройством. Одновременно фильтр второй гармоники выделяет частоту 40 880 *гц*, а на детектор этого канала поступает с удвоителя частоты напряжение общего генератора, т. е. 40 000 *гц*, и после детектирования в УНЧ подается напряжение частотой 880 *гц*, которая служит второй гармоникой для частоты выбранной ноты *ля*. В таком устройстве легко можно было бы получить вибрацию звука, добавив к общему генератору еще один генератор, настроенный на частоту 20 006 *гц*. Для достижения унисонного эффекта требуется добавить еще ряд таких же генераторов с частотами 20 001, 19 999, 20 002, 19 998 *гц* и т. д. Этот метод гармонического синтеза тембра в чистом виде кажется очень перспективным,

но, к сожалению, конструкция такого органа никем не реализована [Л. 21].

Одним из приложений аддитивного способа темброобразования является метод получения спектров, характеризующихся отсутствием некоторых гармоник. Этот метод можно применить в многоголосных инструментах, в генераторной основе которых применены устройства, формирующие электрические сигналы пилообразной формы. Яркий представитель таких тембров — тембр кларнета, специфичность которого обусловлена почти полным отсутствием четных гармоник в спектре. Схема, изображенная на рис. 65, позволяет без затруднений получить тембр кларнета и другие тембры такого спектра, имеющего не менее двух октавных регистров. Сущность этого метода заключается в следующем. Допустим, что инструмент имеет регистры 8′ и 4′. Если из спектра пилообразных колебаний регистра 8′ вычесть спектр колебаний регистра 4′, интервал между которыми всегда составляет октаву, то все четные гармоники в колебаниях регистра 8′ будут подавлены. Для такого вычитания спектров необходимо инвертировать фазу колебаний одного из регистров (предположим, 8′) на 180° н сложить их с колебаниями регистра 4′. Чтобы форма кривой результирующих колебаний была симметричной, что необходимо для более полного подавления четных гармоник, следует подобрать сопротивление резистора $R_7$ в эмиттерной цепи транзистора $T_2$ с тем, чтобы амплитуда инвертированных колебаний была примерно вдвое больше амплитуды неинвертированных. Процесс образования колебания, по форме близкого к прямоугольному со скважностью два, можно понять, рассмотрев осциллограммы, показанные на рис. 66.

Рис. 66. Осциллограммы напряжений в схеме на рис. 65.

Непременное условие хорошей работы такой схемы в многоголосном ЭМИ заключается в линейности как эмиттерного повторителя ($T_1$), так н усилителя-инвертора, что позволяет избежать интермодуляционных искажений и получить в аккордах чистое, красивое звучание.

Если в электрооргане имеется квинтовый регистр, например $2\frac{2}{3}'$, то по приведенной схеме можно получить интересный тембр, подав на вход эмиттерного повторителя напряжение с квинтового регистра, а на инвертор — с регистра 8′ или 4′.

При использовании делителей частоты, собранных по схеме мультивибратора с прямоугольной формой генерируемых колебаний, при скважности, отличной от двух, можно с успехом получать тембры дробного спектра, в том числе и близкие к кларнетным.

Определенный интерес представляют одноголосные ЭМИ с аддитивным способом темброобразования. Основная трудность реализации этого способа заключается в получении гармоник с порядковыми номерами 3, 5, 6, 7, 9 и т. д.

При применении последовательной цепочки делителей частоты легко получить гармоники с порядковыми номерами 1, 2, 4, 8, 16 и т. д., которые можно использовать для гармонического синтеза.



Простейшая блок-схема такого одноголосного инструмента показана на рис. 67.

Ниже предлагается метод получения гармоник с любым порядковым номером во всем звуковом диапазоне инструмента при по-

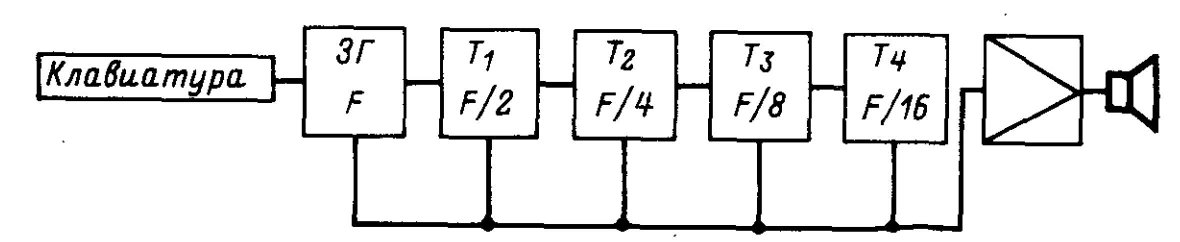



Рис. 67. Блок-схема одноголосного ЭМИ с регистровым синтезом тембра.

*ЗГ* — задающий генератор; $T_1$—$T_4$ — триггеры.

мощи ячеек с коэффициентом деления частоты $k=2$, охваченных обратной связью. Этот метод реализован в инструменте «Романтика-2».

На рис. 68 показана блок-схема деления частоты с коэффициентом деления 3 (*а*) и осциллограмма напряжений (*б*). В данной схеме ячейка с коэффициентом деления 2 представляет собой триггер, в цепь обратной связи которого включен ждущий мультивибратор, срабатывающий при каждом четвертом импульсе задающего генератора (*ЗГ*) и своим выходным импульсом переводящий триггер $T_1$ в исходное состояние. Таким образом, цепь обратной связи заставляет триггер срабатывать «досрочно», так что иа каждый его импульс приходится три импульса задающего генератора.

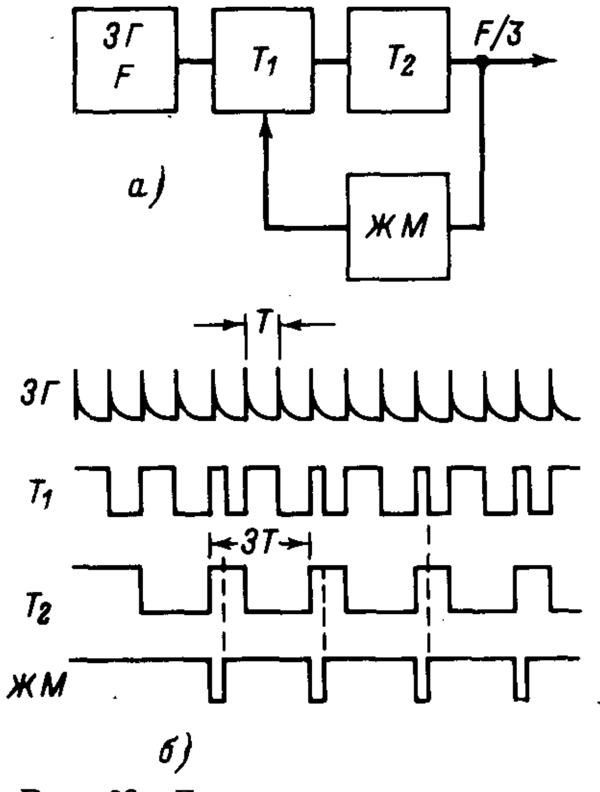



Рис. 68. Делитель частоты на три.

*ЗГ* — задающий генератор; $T_1$—$T_2$ — триггеры; *ЖМ* — ждущий мультивибратор.

Добавив к описанному устройству еще один триггер и один ждущий мультивибратор, можно построить схему деления частоты с коэффициентом деления 5. Цепи обратной связи в этом случае должны быть подсоединены к первому и второму триггерам.

При использовании в схемах указанного типа триггеров, нечувствительных к форме запускающих импульсов, можно построить схемы деления частоты без ждущих мультивибраторов в цепи обратной связи. При этом импульсы сброса образуются при дифференцировании импульсов оконечного триггера. Принципиальная схема делителя частоты с коэффициентом деления 3 приведена на

рис. 69. Схема работает надежно в широком диапазоне частот и в налаживании не нуждается. При исследовании и синтезировании схем с различными коэффициентами деления частоты оказалось воз-

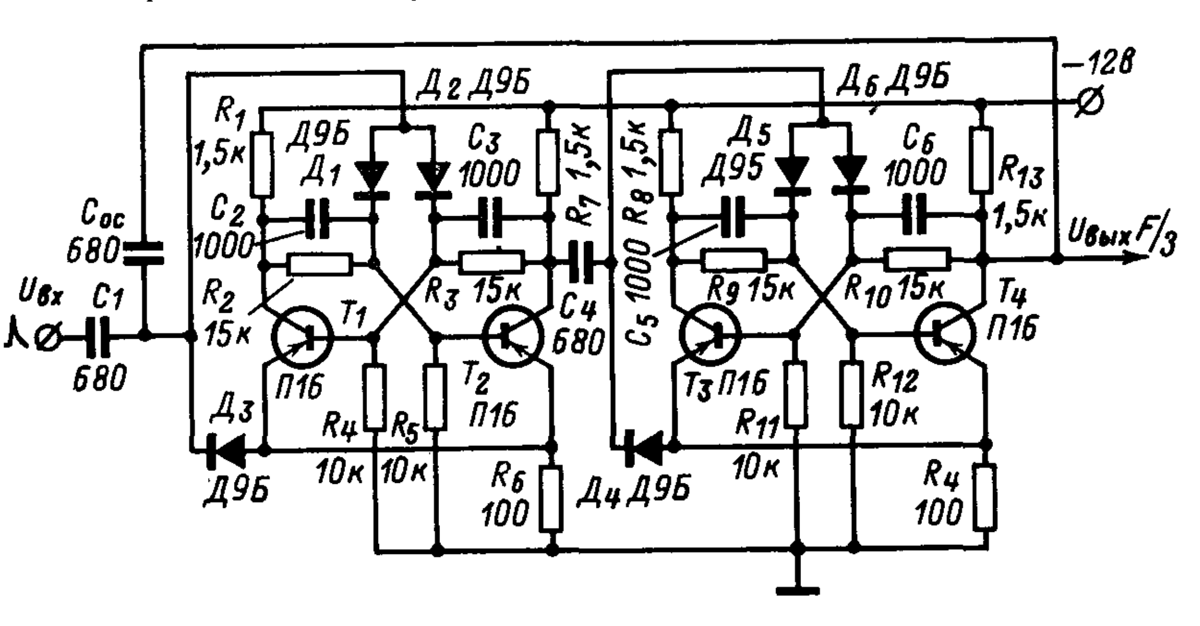



Рис. 69. Принципиальная схема делителя частоты с коэффициентом деления 3.

можным вывести мнемоническое правило, позволяющее получать гармонику с любым порядковым номером. Это правило формулируется следующим образом.

Для составления схемы деления частоты с коэффициентом деления, равным $k$, необходимо число, равное $(k-1)$, представить в двоичном изображении. Число цифр в двоичном изображении числа $(k-1)$ равно числу ячеек с коэффициентом деления 2 (например, триггеров), применяемых в схеме, и цифре двоичного изображения с наибольшим порядковым номером соответствует ячейка с порядковым номером 1. С конечной ячейки по цепям возврата поступают импульсы сброса на ячейки, которым соответствуют нули в двоичном изображении числа $(k-1)$.

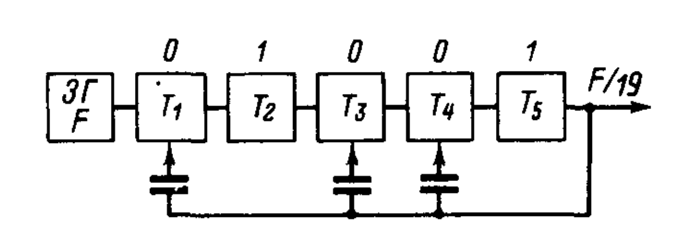



Рис. 70. Блок-схема деления частоты на любое число.

Пользуясь приведенным правилом, составим схему деления частоты с коэффициентом деления 19. Вспомогательный коэффициент $(k-1)=18$. Двоичное изображение числа 18 записывается «10010», при этом пятому триггеру соответствует «1», четвертому — «0», третьему — «0», второму — «1» и первому — «0». Соответствующая блок-схема получения частоты $F/19$ имеет вид, показанный на рис. 70. Применение схем, построенных по этому правилу, позволяет получить любые гармоники основного тона с заданным соотношением амплитуд во всем звуковом диапазоне инструмента и таким образом выполнить главное условие гармонического синтеза тембра.



Приближая достаточно точно форму кривой напряжения каждой гармоники к синусоидальной при помощи интегрирующих цепочек *LC* и *RC*, можно добиться того, чтобы составляющие сложного тембра были сами по себе простыми колебаниями. Таким образом, возможно построить одноголосный инструмент с гармоническим синтезом тембра в чистом виде.

На рис. 71 приведена блок-схема одноголосного инструмента, в котором тембр синтезируется из 1, 2, 3, 4, 6, 8 и 12-й гармоник. Если считать, что 1 гармоника изменяется в диапазоне $F=87-$

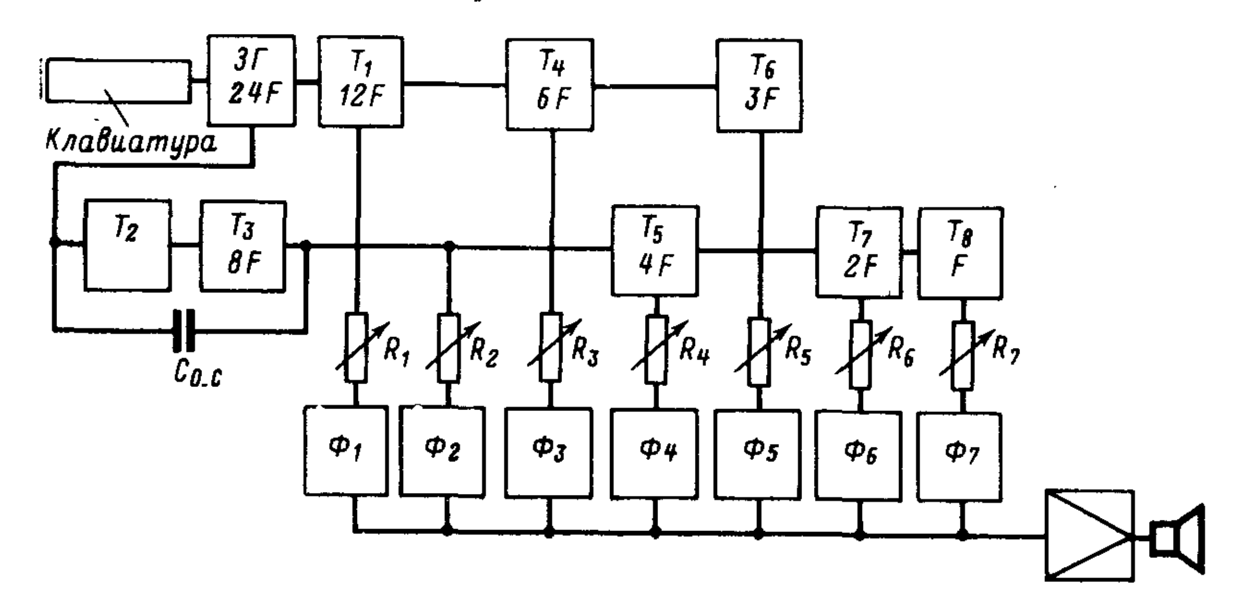



Рис. 71. Блок-схема одноголосного ЭМИ с гармоническим синтезом тембра.

ЗГ — задающий генератор; $T_1-T_8$ — триггеры; $Ф_1-Ф_7$ — фильтры низких частот.

1 047 *гц*, т. е. диапазон инструмента простирается от ноты *фа* большой октавы до ноты *до* третьей октавы, то для получения в тембре перечисленных выше гармоник необходимо применить задающий генератор, генерирующий частоты $24\,F=2\,088 \div 25\,128$ *гц*. При этом 3, 6 и 12-я гармоники получаются трехкратным делением частоты $24\,F$ на 2, а 8, 4, 2 и 1-я гармоники — делением частоты $24\,F$ на 3 и с последующим трехкратным делением на 2. Амплитуду каждой гармоники регулируют резисторами $R_1-R_7$. Фильтры $Ф_1-Ф_7$ преобразуют поступающие с триггеров колебания прямоугольной формы в синусоидальные.

## Глава четвертая

# УПРАВЛЕНИЕ ЗВУКОМ

### 14. ВИБРАТО

Периодические изменения высоты звука с инфразвуковой частотой принято называть вибрато. Как уже отмечалось, вибрато имеет не последнее значение не только в окончательном оформлении тембра, но и в придании музыкальному звуку «живости» и

певучести. Кроме того, было замечено, что вибрато в электроорганах значительно уменьшает субъективное восприятие интермодуляционных искажений. Поэтому методам получения вибрато и улучшения его восприятия обычно уделяют очень большое внимание.

В настоящее время известно несколько разновидностей вибрато, однако различия между ними не столь значительны, так как в конечном счете все виды вибрато предназначены периодически изменять спектр звука с нужной глубиной и частотой. Как показали исследования акустической лаборатории Московской государственной консерватории, оптимальная частота вибрато лежит в пределах 6—8 *гц*. При этом первостепенное значение имеют ровность, отсутствие рывков и плавность его возникновения [Л. 22].

Рис. 72. Генератор вибрато.

Одно из наиболее распространенных — частотное вибрато, при котором модулируется частота задающих генераторов. Для этой цели необходим генератор вспомогательного напряжения инфразвуковой частоты, называемый генератором вибрато. Лучшими генераторами считаются те, которые генерируют почти чисто синусоидальное напряжение.

Схема (рис. 72) представляет собой *RC*-генератор с фазосдвигающей цепочкой. Генератор хорошо работает в достаточно широком диапазоне температур (0°—35° С) и не нуждается в налаживании. Частотозадающими конденсаторами могут быть электролитические ЭМ, рабочее напряжение которых не менее 20 *в*. Усилительным элементом служит составной транзистор, так как для данной схемы требуется большой коэффициент усиления. Каждый транзистор должен иметь коэффициент усиления по току не менее 30—35. Частота генерируемых колебаний плавно изменяется переменным резистором $R_2$ в пределах 5—8 *гц*. Ток, потребляемый от источника питания, не превышает 2,5 *ма*.

Генератор вибрато (рис. 73) требует для своей работы лишь один транзистор. Этот генератор более экономичен ($I_{потр}$=0,75 *ма*), однако эффективное значение выходного напряжения у него меньше, чем у генератора с фазосдвигающей цепочкой (1,8 *в* против 5,6 *в*). В ряде случаев этого достаточно для глубокой модуляции. Частоту его можно изменять в некоторых пределах с помощью резистора $R_7$ [Л. 29].

Получить достаточную девиацию частоты выходного напряжения *LC*-генераторов с повышенной стабильностью очень трудно, порой даже невозможно. Для таких генераторов, построенных на транзисторах, целесообразно повысить модулирующее напряжение, применив ламповые схемы генераторов вибрато или схемы мультивибраторов на высоковольтных транзисторах МП25 или МП26. Так как выходное напряжение мультивибратора имеет почти пилообразную форму, его необходимо несколько сгладить трехзвенным *RC*-фильтром (*R*=10 *ком*, *C*=1 *мкф*). Коллекторное напряжение транзисторов должно составлять 30—40 *в*.



Особенно трудно получать частотное вибрато от электромеханических генераторов и высоковольтных электронных генераторов с камертонной стабилизацией частоты. Это обстоятельство привело к появлению в электромузыке фазовой и амплитудной модуляции выходного сигнала инструментов. Схем фазового вибрато известно много, они основаны на эффекте сложения двух сигналов, основного и сдвинутого по фазе, причем фазовые соотношения между этими сигналами изменяются согласно с воздействием генератора инфразвуковой частоты. Преимущество этих схем заключается в том, что при многоклавиатурной конструкции ЭМИ можно получить вибрато отдельно на каждой клавиатуре, в схемах с частотной модуляцией это затруднено.

Интересна схема фазового вибрато с фоторезистором (рис. 74). Специальный каскад, выполненный на мощном транзисторе П-210, управляет током, протекающим через лампочку накаливания с частотой вибрато, изменение сопротивления фоторезистора вызывает изменение фазы звукового сигнала. Для исключения влияния внешнего освещения фоторезистор и лампа $Л_2$ (КМ-3 24 *в*, 0,105 *ма*) должны быть заключены в светонепроницаемую камеру.

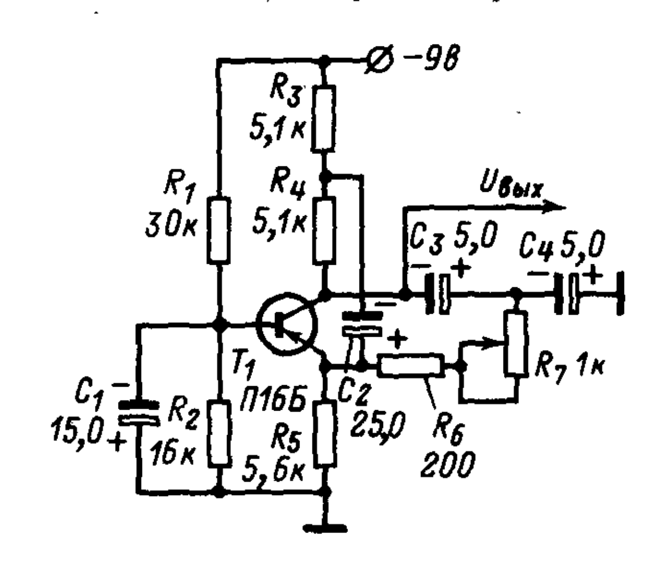


Рис. 73. Генератор вибрато на одном транзисторе.

По мнению многих специалистов, фазовое вибрато по своим акустическим качествам все же уступает частотному. Трудность получения частотного вибрато в ЭМИ с камертонной стабилизацией частоты часто служит первопричиной отказа конструкторов ЭМИ от камертонов. Однако недавние работы в этой области позволили найти способ частотной модуляции камертонного генератора. Он основан на явлении торможения камертона, помещенного в сильное магнитное поле, сопровождающемся заметным изменением частоты его колебаний. В непосредственной близости от ветвей камертона помещают электромагнит со стальным сердечником. По обмотке электромагнита пропускают переменный ток с частотой вибрато. Поле, создаваемое электромагнитом, очень эффективно воздействует на камертон. Выходное напряжение камертонного генератора оказывается модулированным по частоте и амплитуде. Чтобы исключить паразитную амплитудную модуляцию выходного сигнала, отрицательно сказывающуюся на устойчивости работы делителей частоты, выходное напряжение генератора надо подать на усилитель, ограничивающий амплитуду. В выходном напряжении этого ограничителя будет содержаться лишь частотная компонента вибрато. Это интересное устройство разработано инженерами Ю. П. Денисовым и В. П. Омельченко.

Схему громкостного вибрато, или тремоло, легко построить на транзисторах. Следует отметить, что оптимальная частота тремоло несколько выше частоты вибрато и равна примерно 10—12 *гц*. Не

следует путать громкостное или амплитудное вибрато, состоящее в незначительной модуляции сигнала, в спектре которого появляются боковые полосы частот, и тремоло. Громкостное вибрато должно иметь ту же частоту, что и частотное. Для тремоло же характерна перемодуляция сигнала; оно в большинстве случаев бывает необходимо для имитации звучания щипковых инструментов (мандолины или банджо). Устройство для получения громкостного виб-

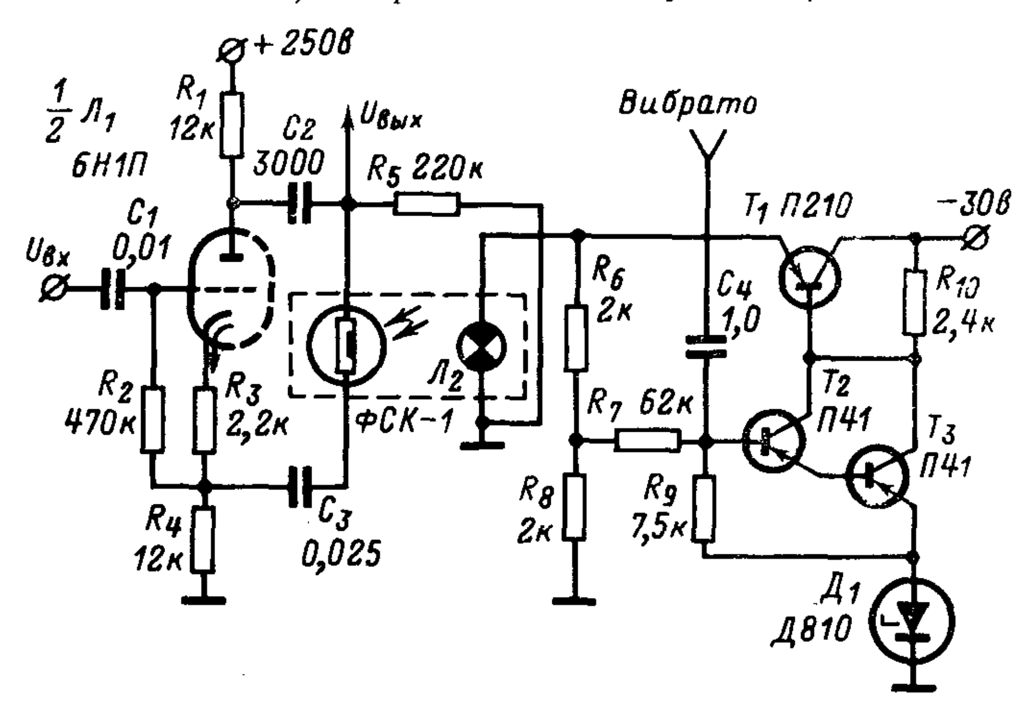



Рис. 74. Схема фазового вибрато.

рато показано на рис. 75. Освещенность фоторезистора здесь изменяется генератором инфразвуковой частоты, собранным на тиратроне с холодным катодом (может быть применена и неоновая лампа, однако тиратрон дает большую яркость вспышек). Так же, как и в предыдущей схеме, фоторезистор и источник света следует расположить в светонепроницаемой камере. Для получения тремоло, т. е. большей глубины модуляции, фоторезистор ФСК-1 нужно заменить фоторезистором ФСКМ-1, имеющим значительно большую разницу между темновым и световым сопротивлениями (примерно 60—70 *дб*).

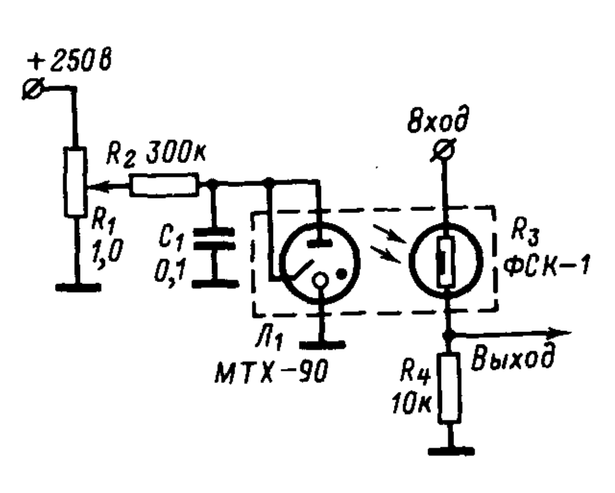



Рис. 75. Схема громкостного вибрато.

В зарубежных инструментах для получения фазового вибрато применяют вращающиеся группы громкоговорителей. Их перемещение в пространстве вызывает эффект вибрации, так как к слушателю звуковая волна приходит каждый раз в новой фазе. При механическом вращении доски с отверстиями, расположенными непосредственно перед неподвижными громкоговорителями, можно также получить и тремоло. Однако у нас подобные конструкции не получили распространения из-за громоздкости и дороговизны.



Одна из разновидностей фазового вибрато представляет собой тембровое вибрато, возникающее при периодическом воздействии на величину какого-либо элемента, участвующего в формировании тембра. Например, тембровое вибрато можно получить при помощи устройства, в котором индуктивность формантного контура изменяется при перемещении ферромагнитного сердечника внутри катушки индуктивности.

В одноголосном инструменте легко получить еще одну разновидность тембрового вибрато. Его схема состоит из ждущего мультивибратора, запускающегося от задающего генератора инструмента

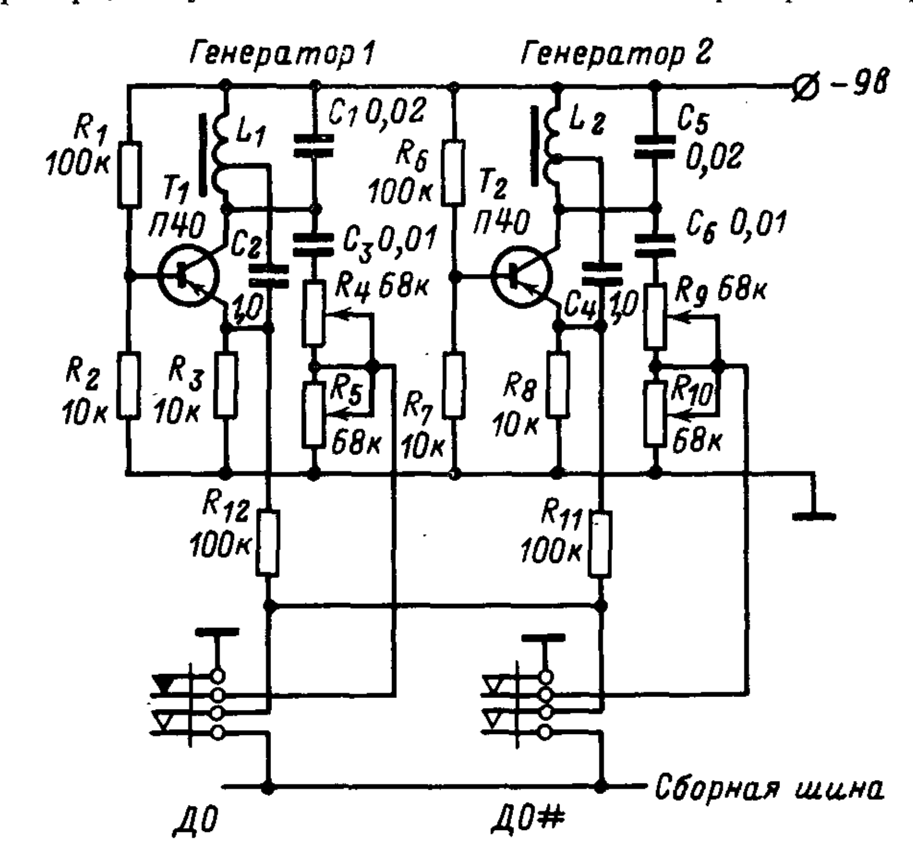



Рис. 76. Устройство для получения унисона.

и генератора вибрато. При воздействии напряжения генератора вибрато на транзистор изменяются параметры разрядной цепи времязадающего конденсатора. Срез генерируемых импульсов все время перемещается при неподвижном фронте. Так как скважность импульсов изменяется, то существует периодическое изменение относительных фаз и амплитуд высших гармонических составляющих. Применение группы таких устройств, модулированных различными инфразвуковыми частотами, позволяет получить эффект, весьма близкий по звучанию к унисону.

Унисон, или хоровое вибрато, — наиболее совершенный вид вибрато, возникающий при совместном звучании нескольких голосов, незначительно отличающихся друг от друга по частоте, громкости, тембру и переходным характеристикам. Практически с унисонным эффектом встречался каждый, кто когда-либо слушал баян. В этом инструменте при нажатии кнопки звучат одновременно два

язычка, настроенных «в разлив», т. е. с небольшим отклонением резонансных частот.

Стремление получить унисонный эффект в электромузыкальных инструментах породило много схем и устройств, однако все они достаточно сложны для практического выполнения. Эффект, близкий к унисону, можно получить при помощи группы устройств фазового вибрато. Наиболее просто, но громоздко и дорого, унисон достигается двумя одинаковыми генераторами, несколько расстроенными друг относительно друга. Очень интересно по замыслу и довольно просто по исполнению устройство, предложенное Н. М. Тукаевым (рис. 76). В нем для второго голоса используются колебания с генератора соседнего полутона или с делителя частоты, синх-

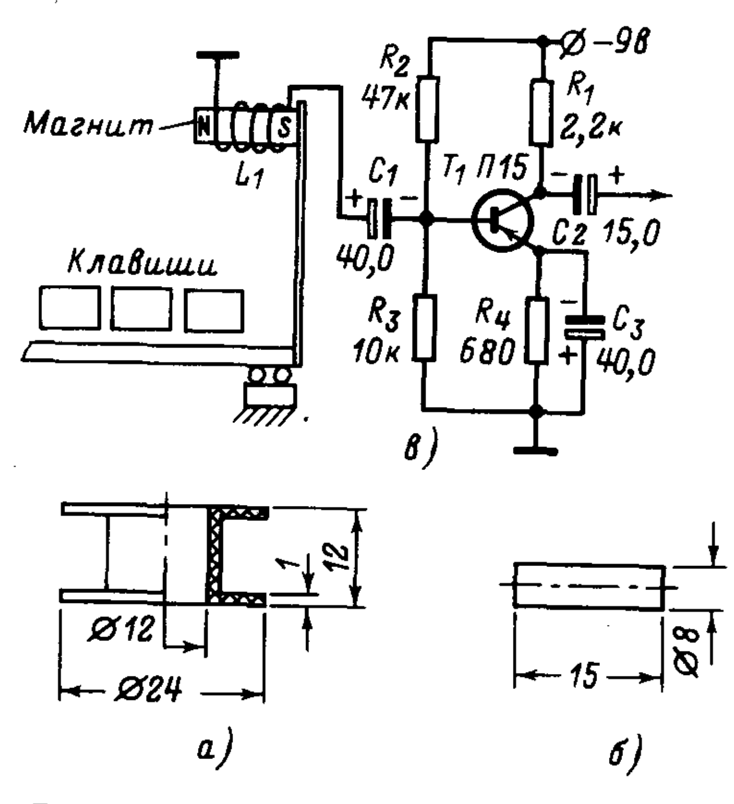



Рис. 77. Устройство пальцевого вибрато.
*а* — каркас катушки; *б* — магнит; *в* — схема.

ронизированного этим генератором. При ненажатых клавишах генераторы настроены на частоты, соответствующие тонам *до* (*Генератор 2*) и *до-диез* (*Генератор 1*). При нажатии клавиши *до-диез* на выход подается сигнал непосредственно от генератора *1* (*до-диез*), а верхняя (по схеме) пара контактов перестраивает генератор *2* так, что частота его становится близкой к частоте первого генератора. То же происходит и при нажатии клавиши *до*, но в этом случае частота генератора *1* должна быть понижена, поэтому одна из пар контактов контактной системы клавиши *до* должна работать на размыкание. Унисон будет отсутствовать лишь при совместном нажатии двух соседних клавишей, что в музыкальной практике встречается нечасто.

Все описанные типы вибрато принято называть автоматическими. Постоянное употребление автоматического вибрато утомляет слух своей монотонной равномерностью. Звучание инструментов с автоматическим вибрато связывается в сознании человека с дру-



гими мирами, с хаотическим нагромождением неорганической материи и космическим холодом. Не напрасно электронную музыку иногда называют «космической». Конечно, автоматическое вибрато имеет право на существование, но конструкторы электромузыкальных инструментов давно искали способ сделать их звучание более жизненным и «земным». Если бы музыкант мог управлять всеми параметрами вибрато в процессе игры, то выразительность исполнения на ЭМИ возросла бы неизмеримо. Итак, мы пришли к термину пальцевое вибрато, т. е. такому вибрато, которое исполнитель получал был при незначительном раскачивании клавишей инструмента пальцами. В этом случае все параметры вибрации — частота, глубина, нарастание и спад — всецело подчинялись бы воле исполнителя.

Одно из возможных устройств для получения пальцевого вибрато изображено на рис. 77. Оно представляет собой электромеханический генератор инфразвуковой частоты, напряжение которого модулируют по частоте звуковые генераторы. Электрическая схема электромеханического генератора состоит из усилителя, собранного на транзисторе $T_1$, и катушки $L_1$, включенной в его базовую цепь.

К опоре, на которую ложатся нажатые клавиши, жестко прикрепляют стальную или бронзовую плоскую пружину, к другому концу которой приклеивают постоянный цилиндрический магнит. Магнит входит в катушку, и при раскачивании подклавишной опоры колебательная система пружина — магнит, собственную частоту колебаний которой устанавливают 6—7 *гц* подбором длины пружины, резонирует. При этом в катушке $L_1$ возникает напряжение той же частоты, оно усиливается и подается на задающие генераторы для модуляции. Катушка $L_1$ намотана на пластмассовом каркасе (можно изготовить из текстолита) и имеет 6 000 витков провода ПЭВ 0,06 *мм*. Магнит может иметь размеры, отличающиеся от указанного на рисунке, но в любом случае его нужно соразмерить с пружиной.

Вибрация звука в данном устройстве при хорошем сцеплении клавиши с опорой (к опоре нужно подклеить технический войлок) возникает при очень незначительном раскачивании клавиши. Недостаток его заключается в некоторой инерционности колебательной системы пружина — магнит. Устранить эту инерционность можно, жестко соединив магнит с опорой, которая в этом случае должна крепиться так, чтобы перемещение ее в горизонтальной плоскости не вызывало труда, а в вертикальном направлении было ограничено. Проще всего опору укрепить на торцах нескольких плоских пружин.

## 15. МАНИПУЛЯЦИЯ

Под термином манипуляция применительно к электромузыкальным инструментам понимают включение звука и управление характером его атаки и затухания. Устройства, служащие для этих целей, называются манипуляторами. Они чаще всего представляют собой электрические цепи, имеющие переменный коэффициент передачи напряжения звуковой частоты. Исполнитель, извлекая звук из инструмента, управляет коэффициентом передачи манипуляторов. В том случае, если характеристики атаки и затухания зависят от воли исполнителя, другими словами, коэффициент передачи зависит от силы удара по клавише или скорости нажатия на последнюю,

мы имеем дело с управляемой манипуляцией, или, как ее часто называют, с пальцевой регулировкой громкости.

В более простых конструкциях ЭМИ применяют неуправляемые манипуляторы. Коэффициент передачи таких устройств изменяется по закону, заложенному конструктором, и от исполнителя, как правило, не зависящему. Такие манипуляторы могут быть настроены на один какой-либо вид манипуляции, например, на получение ударных звучаний. В некоторых инструментах предусмотрена возможность переключения вида манипуляции.

Выше упоминалось о сильном влиянии на качество звука его динамических характеристик. С этой точки зрения предпочтение следует отдать ЭМИ с управляемыми манипуляторами, в особенности с зависимостью коэффициента передачи напряжения от силы удара по клавишам. Но если инструмент имеет хотя бы неуправляемые манипуляторы, и то его звучание выгодно отличается от звучания инструмента без манипуляторов, у которого контакты при нажатии на клавишу коммутируют цепи звуковой частоты. Такое включение позволяет получить резкую мгновенную атаку и мгновенный спад звука.

Основные требования, предъявляемые к манипуляторам, состоят в получении достаточного динамического диапазона и приведении к допустимому уровню фона паузы. Получение достаточного динамического диапазона относится к области конструирования управляемых манипуляторов. Нужно всячески стремиться к тому, чтобы пальцевой регулировкой громкости можно было получить хотя бы три-четыре динамических оттенка (предположим, от пиано до форте).

В этом случае динамический диапазон манипуляторов составит 30—35 *дб*. Другие оттенки можно получить дополнительной педальной регулировкой громкости.

Что касается фона паузы, то его уровень не должен превышать —55 ÷ —60 *дб*. Паузу обычно загрязняют фон плохо отфильтрованного питающего напряжения, разного рода наводки, тепловые шумы транзисторов и электронных ламп и так называемый «музыкальный шум». Под последним понимается сумма всех звуковых сигналов, проникающих на выход инструмента от работающих тонгенераторов через запертые манипуляторы. «Музыкальный шум» наиболее неприятен из всех составляющих фона паузы и с ним, пожалуй, труднее всего бороться. Если конструктором приняты достаточные меры по устранению фона и наводок переменного тока промышленной частоты, то за допустимый уровень «музыкального шума» можно принять величину примерно —60 *дб*.

Во многих многоголосных ЭМИ для смешивания звуков, получаемых от разных манипуляторов, применяют простейшую схему сумматора — реостатную. В таком сумматоре выходы всех манипуляторов одного регистра соединяют между собой посредством развязывающих резисторов. Сопротивления этих резисторов должны быть достаточно большими, максимально для уменьшения уровня комбинационных тонов, сопротивление каждого из них должно в 10—20 раз превышать выходное сопротивление манипулятора.

Если обозначить уровень фона паузы инструмента через $L_\Sigma$, то для реостатного сумматора

$$L_\Sigma = 20 \lg \frac{U_\Phi}{U_0} + 20 \lg n,$$



где $U_\Phi$ — напряжение фона, развиваемое одним манипулятором на выходе сумматора (т. е. на сборной шине регистра); $U_0$ — минимально возможный полезный сигнал на выходе сумматора; $n$ — количество манипуляторов в данном регистре.

За величину $U_0$ можно принять напряжение, развиваемое на нагрузке данного регистра при нажатии одной клавиши. Если регистры объединены, то тогда $n$ должно быть увеличено во столько раз, сколько включено регистров.

По существу, первое слагаемое в этой формуле представляет собой не что иное, как диапазон изменения коэффициента передачи манипулятора от запертого до отпертого состояний, выраженный в децибелах, другими словами, это уровень помех $L_1$, вносимых одним, отдельно взятым манипулятором. Таким образом,

$$L_1 = L_\Sigma - 20 \lg n.$$

Этот вывод показывает, что уровень помех одного манипулятора должен быть меньше заданного уровня фона паузы на величину $20 \lg n$, которая тем больше, чем большее число манипуляторов входит в регистр. Так как обычно число манипуляторов в регистре равно числу клавишей, то, очевидно, инструмент с более обширной клавиатурой будет иметь и более высокий уровень фона паузы, или при заданном $L_\Sigma$ для него потребуются манипуляторы более высокого качества.

Требования к уровню помех, вносимых одним манипулятором, довольно жестки. Например, подсчитаем $L_1$ манипулятора, предназначенного для ЭМИ с пятиоктавной клавиатурой ($n = 60$), который должен иметь $L_\Sigma \geqslant -60$ *дб*:

$$20 \lg n = 20 \lg 60 = 35{,}6 \text{ дб};$$

$$L_1 \geqslant -60 - 35{,}6 = -95{,}6 \text{ дб}.$$

Практически уровень помех $L_1$ (как, впрочем, и $L_\Sigma$) можно подсчитать, измерив $U_\Phi$ и $U_0$.

Так как во многих конструкциях электроорганов манипуляторы отсутствуют, остановимся вкратце на методах включения звука контактами. Даже при полном разрыве цепей звуковой частоты трудно добиться нужного уровня фона паузы, так как «музыкальный шум» проникает через емкости, образующиеся между контактными парами. Бороться с этим можно, уменьшая геометрические размеры контактов (применяя, например, контактные проволочки) или замыкая токонесущий контакт на «землю» в момент опускания клавиши. Второй способ усложняет контактную систему, но зато дает хороший результат.

Основной недостаток контактных систем заключается в появлении низкочастотных помех — «щелчков» в момент включения и выключения клавиши. Эти помехи вызваны зарядом и разрядом конденсаторов в цепях темброблока или изменением режима предварительных усилителей. Делались попытки задерживать «щелчки», основная энергия которых находится в области низших звуковых частот, с помощью переходных конденсаторов минимально возможной емкости. Но этот способ, не устраняя «щелчки» полностью, сильно искажал тембр инструмента вследствие плохого прохождения низких частот. Басовый регистр органа в этом случае терял свою «мужественность» и становился скрипучим «старичком», неприятным

для слушателя. Простая, но эффективная схема, показанная на рис. 78, позволяет полностью избавиться от «щелчков». Для этого вообще не следует применять разделительных конденсаторов. Тогда на контакт клавиши $K$ с делителя частоты будет поступать одновременно с переменным напряжением $U_{\sim}$ и некоторое постоянное напряжение $U_{=}$. Для исключения «щелчков» через делитель $R_{д1}$ и $R_{д2}$ к нижнему (по схеме) концу резистора нагрузки следует подключить некоторый источник постоянного напряжения $E$ так, чтобы напряжение в узловой точке по величине и знаку совпадало с $U_{=}$. При этом резистор нагрузки $R_{н}$ окажется включенным в диагональ сбалансированного по постоянному току моста (рис. 78,*б*), и так как потенциалы точек *А* и *Б* равны, то броски постоянного тока через резистор $R_{н}$ будут отсутствовать. Конденсатор $C_{ф}$ имеет большую емкость, для избежания наводок он заземляет узловую точку по переменному току. Сопротивления резисторов $R_{д1}$ и $R_{д2}$ можно подобрать экспериментально, на слух, ориентируясь на полное отсутствие «щелчков».

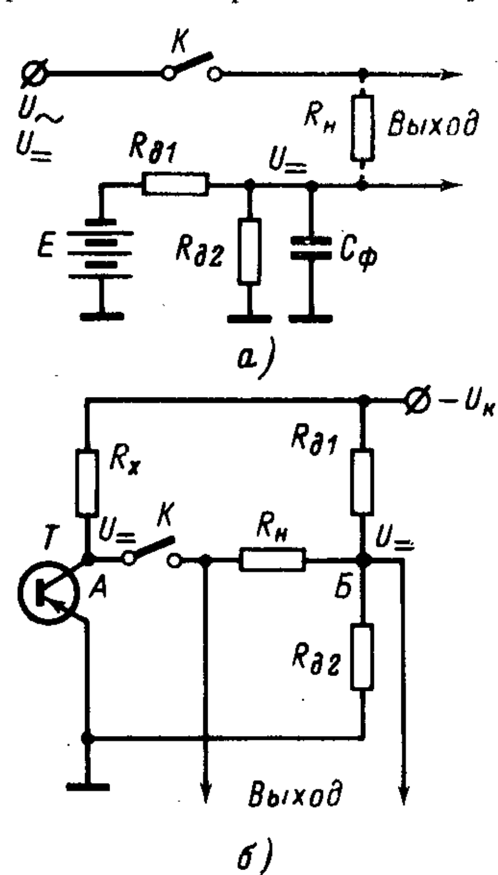



Рис. 78. Способ устранения «щелчков» в электрооргане.

Особенно много неприятностей доставляют «щелчки» одноголосных ЭМИ. В них «щелчки» возникают в результате переходных процессов при коммутации цепей задающего генератора по постоянному току, поэтому описанные методы борьбы с помехами подобного рода не приносят желаемого результата. Выйти из этого положения можно, применив специальную схему манипулятора, которая, устраняя «щелчки», создает мягкую, при желании регулируемую атаку звука и некоторое затухание (рис. 79). На эмиттеры транзисторов $T_1$ и $T_2$ через делитель напряжения $R_5$, $R_6$ подано отрицательное напряжение, запирающее каскад. Каждая клавиша инструмента включает две пары контактов $K_1$ и $K_2$, при этом пара $K_1$ включает задающий генератор на необходимой частоте, а пара $K_2$ подает отрицательное отпирающее напряжение в базовые цепи транзисторов. Из-за делителя $R_1$, $C_1$ напряжение в узловой точке устанавливается не сразу, а манипулятор отпирается постепенно, создавая мягкую атаку звука. При размыкании контактов конденсатор $C_1$ разряжается через резистор $R_2$ и сопротивления цепей баз транзисторов $T_1$ и $T_2$ и звук затухает.

Непременным условием отсутствия низкочастотных помех в этой схеме должна быть разновременность срабатывания контактных пар, связанных с одной клавишей, при этом задающий генератор должен включаться раньше, а выключаться позже манипулятора. Приведенная схема манипулятора позволяет избежать помех, вызванных несимметричностью схемы.



В многоголосных ЭМИ делались попытки применить общий манипулятор для всего инструмента [Л. 3], но они не увенчались успехом. Клавишный манипулятор, схема которого показана на рис. 80, позволяет получить тянущиеся звуки с мягкой атакой и плавным

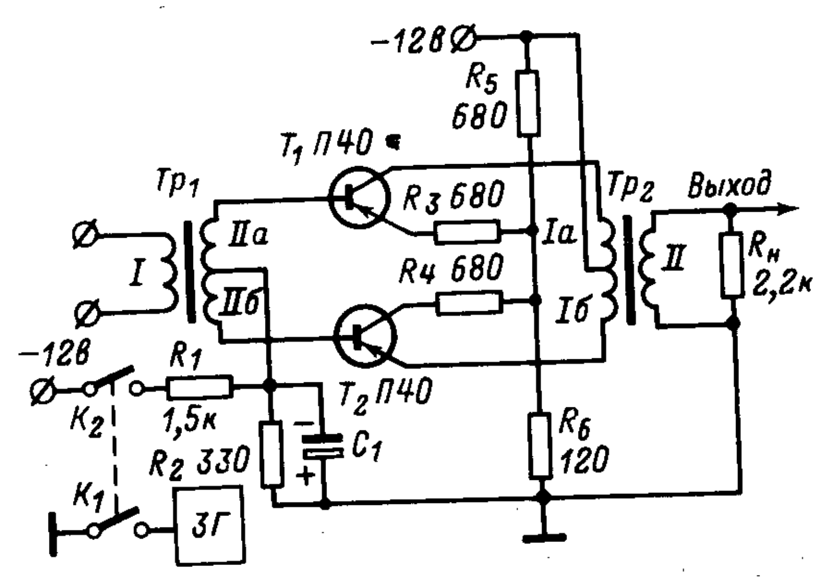



Рис. 79. Манипулятор для одноголосного ЭМИ.

затуханием и ударные звуки типа цимбал, клавесина или фортепиано.

Каскад нормально заперт положительным напряжением, подаваемым от источника +30 *в* в узловую точку делителя $R_3$, $R_4$. При нажатии на клавишу контакт $K_1$ размыкается и конденсатор $C_1$ начинает перезаряжаться до некоторого отрицательного напряжения; за это время происходит атака и устанавливается звучание. При обратном ходе клавиши каскад плавно запирается. Если включить регистр ударных инструментов $B_1$, то конденсатор $C_2$ получит отрицательный заряд. При нажатии клавиши цепочка $R_2C_2$ подключится к цепи атаки, вызывая быстрый перезаряд конденсатора $C_2$. По мере расхода энергии, запасенной на конденсаторе $C_2$, происходит установление режима работы манипулятора.

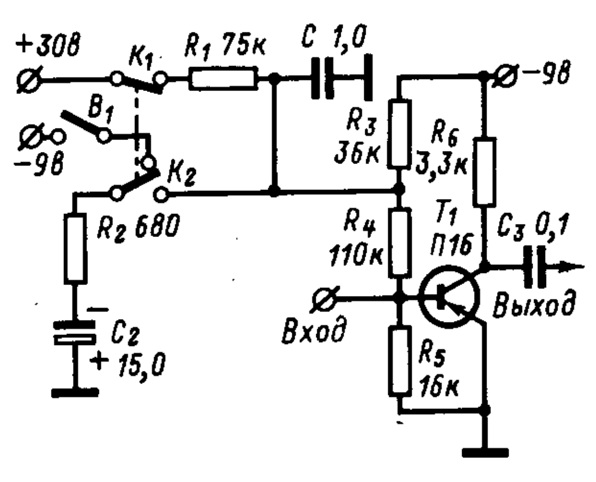



Рис. 80. Транзисторный манипулятор для электрооргана.

Очень перспективна в смысле манипуляции схема с общей базой (рис. 81). Этот манипулятор позволяет получить уровень фона паузы больше чем —80 *дб* и не требует дополнительного источника запирающего напряжения. Цепочку запирания (резистор $R_1$) можно вообще исключить, если использовать гальваническую связь эмиттера манипулятора с выходом делителя частоты.

Манипулятор, изображенный на рис. 82,*а*, может быть применен для педалей электрооргана или для одной-двух нижних

октав ручной клавиатуры. Он позволяет получить затухающий звук, необходимый для имитации звучания контрабаса. Контактная система этого манипулятора состоит из двух пар контактов на клавишу, причем нормально разомкнутые контакты подключаются параллельно и служат для подачи на вход схемы необходимых звуковых напряжений, а нормально замкнутые включаются последовательно и подводят общий провод к эмиттеру транзистора так, что при ненажатых клавишах каскад остается отпертым. Нажатие клавиши вызывает разряд конденсаторов через резистор $R_5$. Ток разряда и создает напряжение, запирающее каскад. Манипуляционная осциллограмма для этой схемы приведена на рис. 82,*б*.

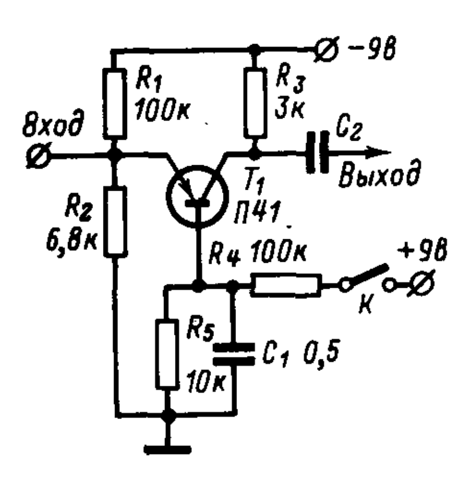



Рис. 81. Манипулятор по схеме с общей базой.

Большие возможности дает конструкторам применение полупроводниковых диодов, которые, по сути говоря, служат сопротивлениями, величина которых зависит от протекающего через них тока. Кремниевые диоды Д226 (плоскостные), Д107, Д108 (точечные), Д219—Д223 (микроплоскостные) и др. позволяют получить уровень фона паузы примерно —80÷—90 *дб*. Две схемы на кремниевых диодах приведены на рис. 83. В схеме на рис. 83, *а* диод отпирается постоянной составляющей коллекторного напряжения транзистора делителя частоты. В схеме на рис. 83,*б* с применением диода решаются две задачи. Создание атаки и затухания звука, определяемых временем заряда и разряда конденсатора $C_2$, и преобразование прямоугольных колебаний, вырабатываемых делителем частоты в пилообразные. Естественно, что целесообразность применения этой схемы определяется наличием или отсутствием в инст-

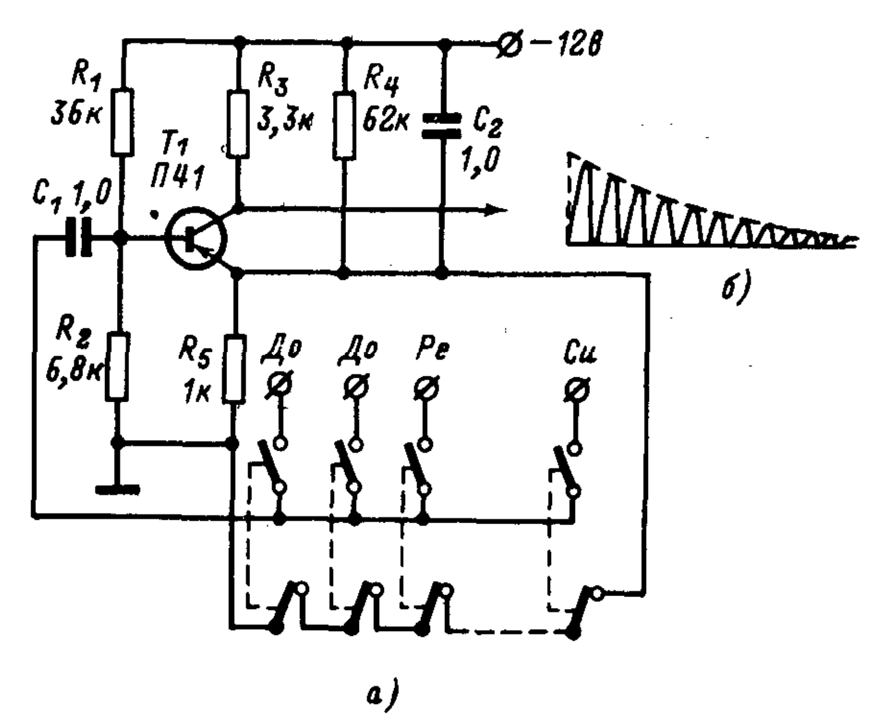



Рис. 82. Манипулятор для басовой клавиатуры.



рументе триггерных делителей частоты. Конденсатор $C_4$ позволяет получить более быстрое затухание высших частот. Во многих случаях введение такого корректирующего конденсатора в манипулятор очень полезно. Это позволяет придать звуку текучесть спектра, характерную для многих духовых инструментов, так как при сильном давлении воздуха в последних звук всегда светлее, т. е. спектр его богаче. При малых амплитудах форма звуковых колебаний духовых инструментов приближается к синусоидальной.

Германиевые точечные диоды дешевле кремниевых. Однако для получения достаточного уровня фона паузы манипулятора их нужно установить несколько штук для одной клавиши. Если попытаться сделать манипулятор на германиевых диодах, составляя аттеню-

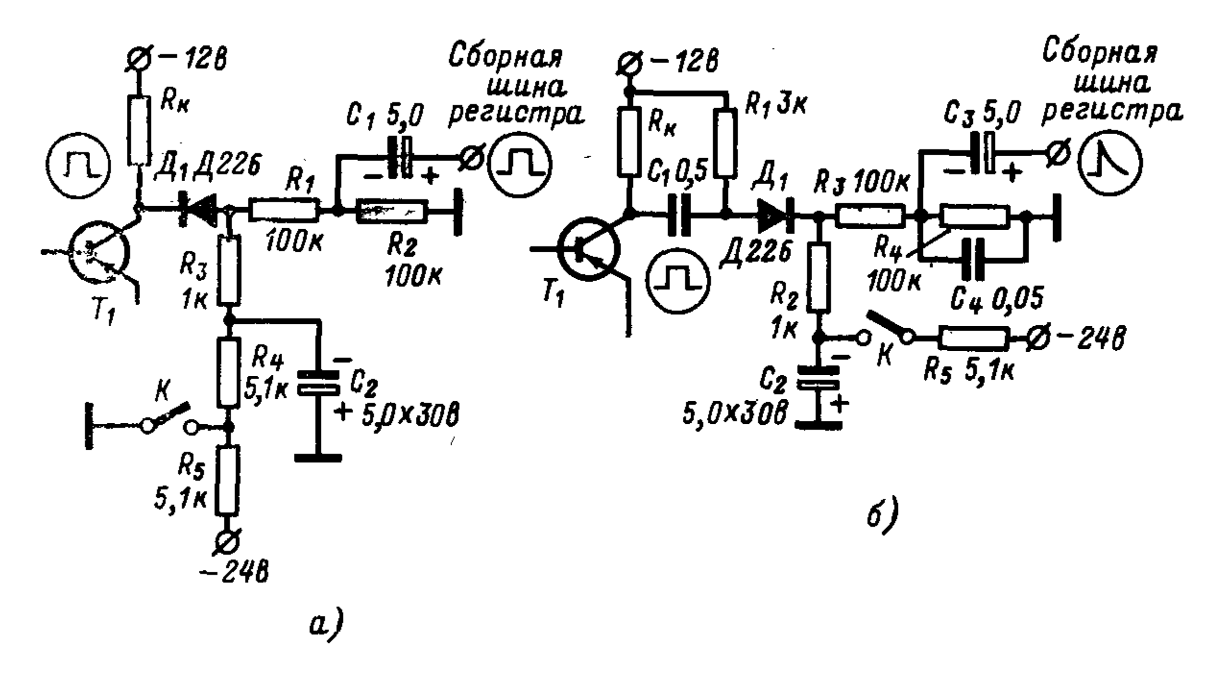



Рис. 83. Две схемы манипуляторов на кремниевых диодах.

аторы совместно с резисторами (последовательно включенный резистор, параллельно включенный диод), то в конечном счете можно добиться неплохого результата. При сопротивлении последовательного резистора 50 *ком* с диодом Д9Д можно одним каскадом аттенюации получить уровень фона паузы —50 *дб*. Имея в виду, что при последовательном соединении таких аттенюаторов общий уровень фона равен сумме уровней отдельных каскадов (в логарифмических единицах), можно сказать, что двух диодов для хорошей манипуляции будет вполне достаточно. Уровень фона улучшается с увеличением сопротивления последовательного резистора, но нужно помнить, что чрезмерное его увеличение может сильно ослабить полезный сигнал и сделать схему чувствительной к наводкам.

Повысить надежность работы клавиатуры электромузыкального инструмента можно, применяя разнообразные схемы бесконтактной коммутации. Одно из таких устройств изображено на рис. 84. Управляющим элементом в нем служит фоторезистор, освещенность которого изменяется подвижной заслонкой, связанной с клавишей инструмента. Когда свет от лампы $Л_4$ не проникает в окошко фоторезистора (клавиша не нажата), неоновые лампы $Л_1$—$Л_3$ не горят и звуковые сигналы от источников гармонических частот $f_1$—$f_3$ на выход схемы не проходят. При нажатии клавиши лампы заго-

раются и сопротивление их резко падает. Переключатели регистров $B_1$—$B_3$ подключают ко вторым электродам ламп напряжение +100 *в*, поэтому при замкнутых ключах неоновые лампы загореться не могут. Схема позволяет в некоторых пределах изменять степень ионизации газа в неоновых лампах, что создает дополнительные возможности для исполнения (пальцевое управление громкостью). В литературе [Л. 3] уже описаны устройства регулирования громкости с помощью неоновых ламп — подобная система применена в электромузыкальном инструменге «Ионика» (ГДР), где газ в лампах ионизируется под воздействием высокочастотного электрического поля.

В ряде известных нам зарубежных электроорганов для получения пальцевой регулировки громкости применяют контакты с пе-

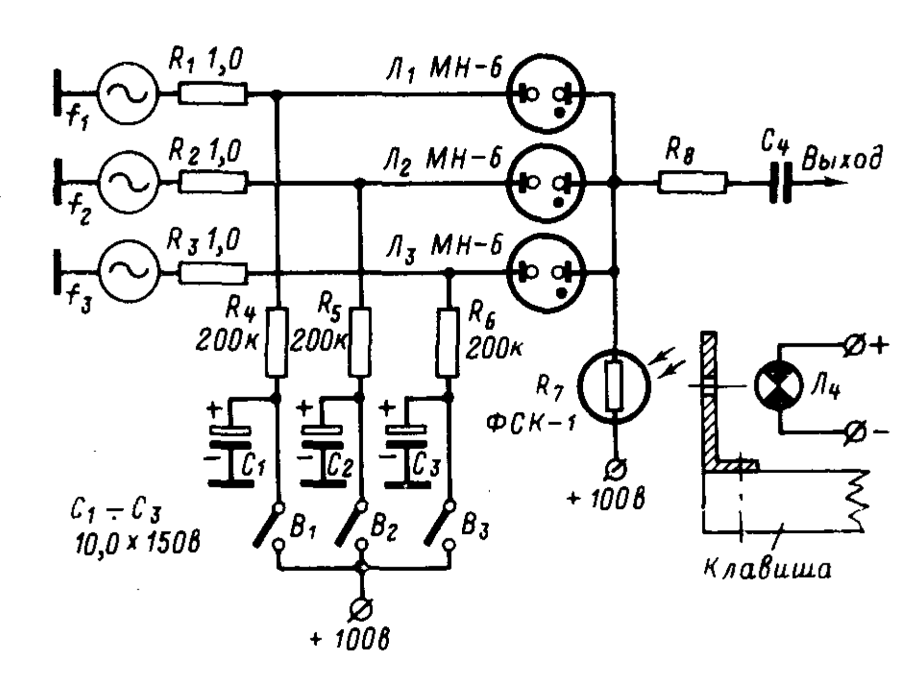



Рис. 84. Схема бесконтактной клавиши.

ременным проволочным или пленочным сопротивлением. Таковы, например, орган Болдвина и музыкальный инструмент «Матадор» (ГДР). Но опыт показывает, что большие надежды на такой способ возлагать нельзя, так как эти сопротивления довольно быстро изнашиваются и портят звучание инструмента, внося помехи.

Большие возможности в создании ЭМИ заключены в совершенствовании устройств для получения ударных звучаний типа фортепиано. К таким устройствам предъявляют четыре основных требования:

1) звуки этого инструмента должны быть затухающими, причем при затухании высшие гармонические составляющие должны исчезать быстрее. Это должно сказаться на повышении «полетности звука»;

2) каждая клавиша инструмента должна иметь индивидуальное устройство для управления динамикой (громкостью) звука;

3) для высокого технического уровня исполнения клавиатура инструмента должна иметь податливость, аналогичную фортепианной;



4) инструмент должен быть снабжен демпферным устройством, аналогичным по эффекту педали фортепиано.

На рис. 85 изображено одно из клавишных устройств, отвечающих этим требованиям. Манипулятором служит кремниевый диод $Д_1$, нормально запертый напряжением —6 *в*, подаваемым через резистор $R_1$. Режим транзистора $T_1$ подобран так, что напряжение на коллекторе еще недостаточно для отпирания диода $Д_1$.

При нажатии на клавишу постоянный магнит, двигаясь внутри катушки, вызывает возникновение импульса тока, который запирает транзистор и, следовательно, отпирает диод $Д_1$. Так как э. д. с. в катушке зависит от скорости перемещения магнита, то, очевидно, сила звука будет зависеть от силы удара по клавише. Заряд, необходимый для поддержания звучания, накапливается на конден-

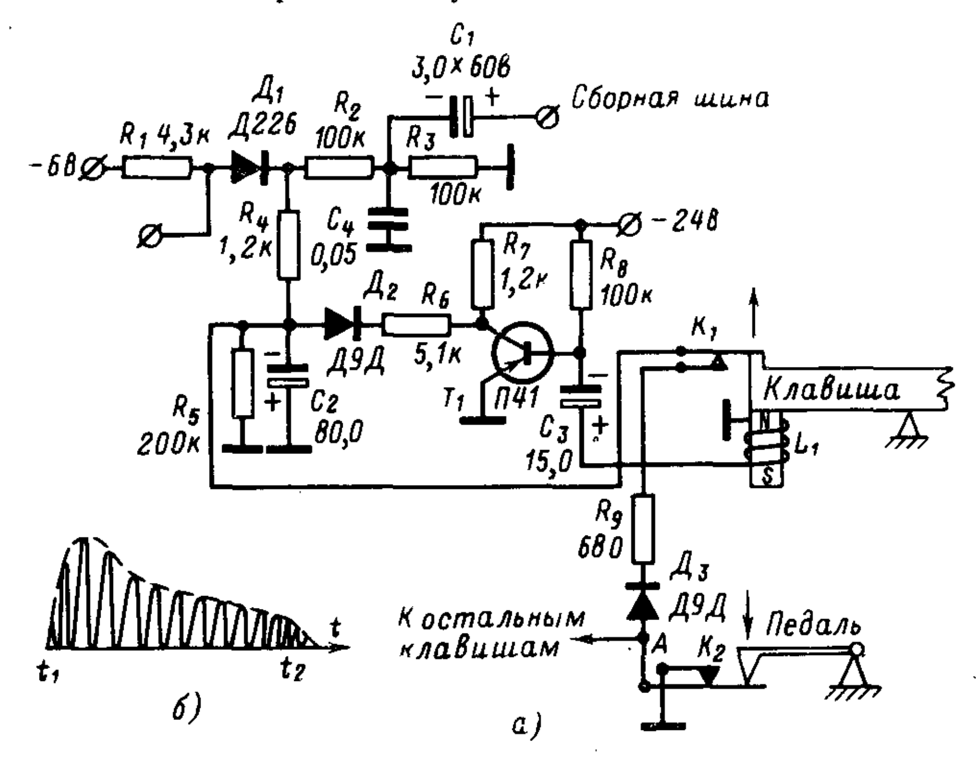



Рис. 85. Клавишное устройство для электропианино.

саторе $C_2$, который через нормально замкнутые контакты $K_1$ и $K_2$ зашунтирован небольшим сопротивлением резистора $R_9$. При нажатии на клавишу контакт $K_1$ размыкается (снимается демпфирование) и звук медленно затухает, если клавиша продолжает оставаться нажатой. При отпускании клавиши звук затухает быстро вследствие разряда конденсатора $C_2$ через резистор $R_9$. Если нажата педаль сопряжения аккордов (контакты разомкнуты), то инструмент будет звучать даже при снятых с клавиатуры пальцах. В этой схеме диод $Д_2$ ограничивает бросок напряжения при возвратном движении магнита, а диод $Д_3$ устраняет взаимные влияния цепей соседних клавишей друг на друга. Точка *A* служит общей для всех диодов $Д_3$ остальных клавишей. Катушка должна иметь не менее 2 000 витков провода ПЭВ-1 0,1 *мм*. Чтобы избежать искажений формы кривой при манипуляции, необходимо, чтобы они имели вид прямоугольных импульсов. Для имитации ощущения податливости фортепианной клавиатуры вместо возвратных пружин, создающих ощущение вязкости, следует применить свинцовые противовесы.

## 16. ГЛИССАНДО

Глиссандо называют такой прием исполнения, при котором высота тона изменяется плавно (на грифовых инструментах) или скачкообразно (на фортепиано). Достигается это путем скользящего движения пальца или руки (на фортепиано). При многоголосном глиссандо высота всех взятых звуков одновременно понижается или повышается. Этот прием требует некоторого усложнения схемы клавишного инструмента.

В разделе, посвященном описанию задающих генераторов для многоголосных инструментов, приводились некоторые методы получения глиссандо.

Если применить переменный резистор типа СП, то можно сделать регулятор, конструкция которого изображена на рис. 86. По-

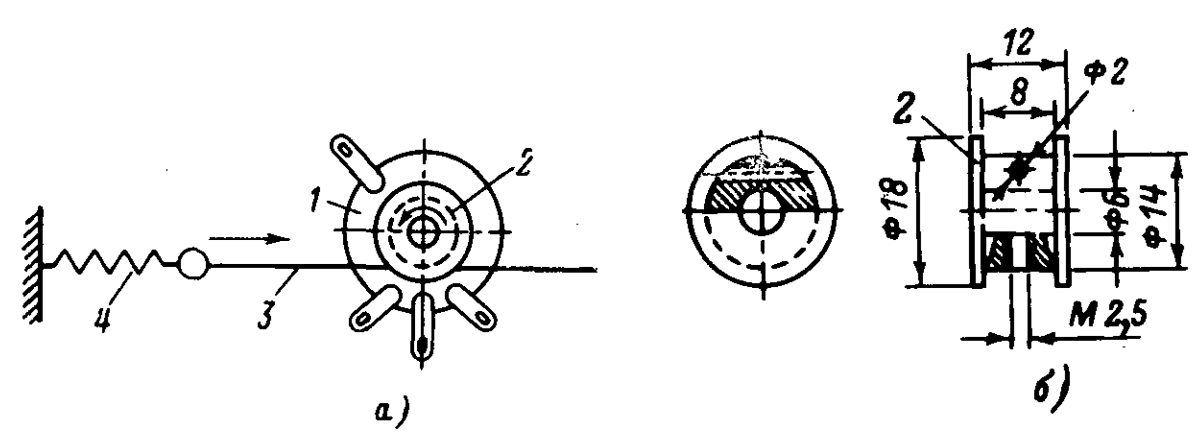



Рис. 86. Регулятор глиссандо.
*1* — потенциометр; *2* — втулка; *3* — тросик; *4* — пружина.

тенциометр крепят внутри инструмента на металлическом угольнике. На его ось надевают латунную втулку и крепят ее стопорным винтом М 2,5×4. Во втулке имеется отверстие диаметром 2 *мм*. Очень важно, чтобы регулятор глиссандо был полностью выведен и не вносил расстройки в задающие генераторы. Для этого служит спиральная пружина, одним концом прикрепленная к корпусу инструмента, а другим — к тросику из рыболовной лески диаметром 0,6—0,9 *мм*. Тросик продевают в отверстие втулки, привязывают другой его конец после нескольких оборотов вокруг втулки и выводят на переднюю панель инструмента. Пружина не должна быть слишком тугой, чтобы не разрушить подковку потенциометра при резком отпускании вытянутого тросика. Очень хорошо работает пружина, навитая из стальной пружинной проволоки диаметром 0,2 *мм* на пруток диаметром 2,5 *мм*. Длина пружины в нерастянутом состоянии 40 *мм*.

Скачкообразно глиссандо в обычных клавишных инструментах играется быстрым скользящим движением пальцев и руки исполнителя по клавиатуре.

Возможности глиссандо значительно расширяются, если схему устройства построить так, чтобы по желанию музыканта можно было сыграть глиссандо в любой тональности. Любой музыкальный лад обладает тем свойством, что внутри каждой октавы сохраняется величина интервалов между его ступенями. Например, натуральный мажор определяется следующими интервалами: тон, тон, полутон — тон, тон, тон, полутон. Следовательно, при исполнении глиссандо на клавишном инструменте в пределах натурального *до*-мажора должны быть пропущены: *до-диез, ре-диез, фа-диез, соль-диез, ля-диез*. Это эквивалентно скольжению пальца исполнителя лишь по белым клавишам. В других тональностях исполнение глиссандо невозможно.

Схема, изображенная на рис. 87, позволяет исполнителю заранее исключить все ненужные звуки, при этом по его желанию может быть установлена любая требуемая тональность. Для подключения звуков пригодны любые манипуляторы, например изображенный на рис. 83,*а*. Этими манипуляторами управляют контакты, расположенные на грифе. Все одноименные контакты грифа (например, все *до*) объединяют и подводят к одному из контактов реле $Кр_1$—$Кр_{12}$. Все другие контакты реле соединены между собой и с «зем-

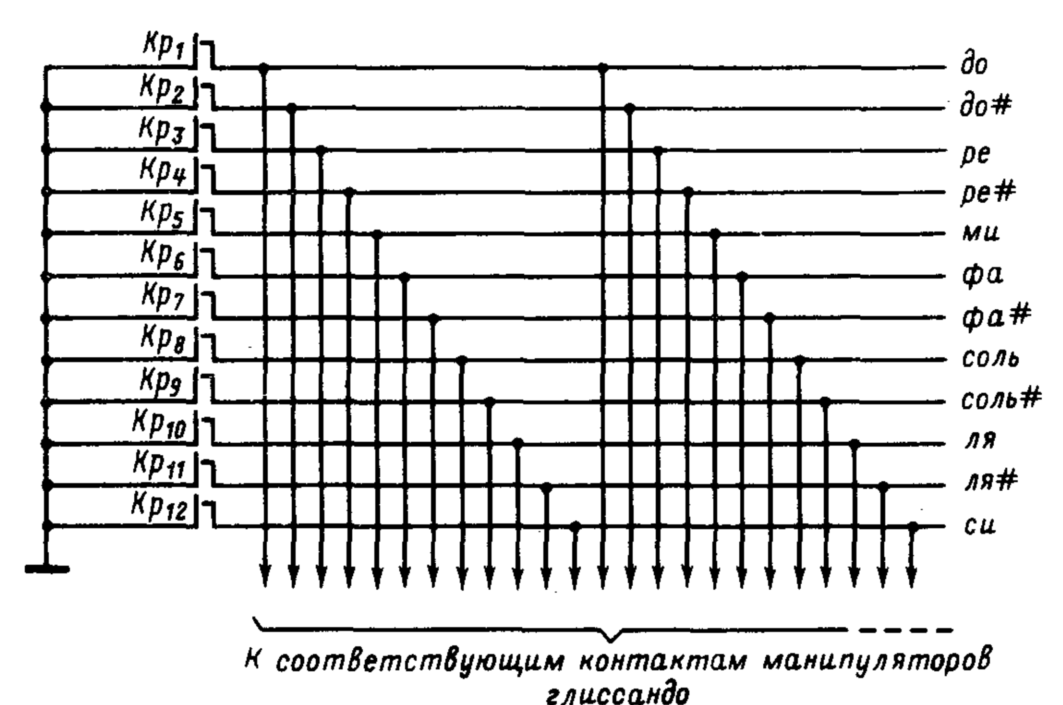



Рис. 87. Схема для получения скачкообразного глиссандо.

лей» или с источником отпирающего манипуляторы напряжения (в зависимости от схемы манипулятора).

Реле $P_1$—$P_{12}$ расположены в схеме управления (рис. 88), которая содержит 12 клавишей (от *до* до *си*). При нажатии на одну из клавишей замыкается контакт $B_1(B_{12})$, связанный с этой клавишей. В результате срабатывает реле, которое самоблокируется своими же контактами и одновременно подключает общий провод или отпирающее напряжение на группу одноименных контактов грифа. Лампы накаливания, шунтирующие обмотки реле, загораются, сигнализируя о том, что данный звук включен. Следовательно, для набора той же тональности *до*-мажор исполнителю предварительно нужно нажать все белые клавиши управляющего устройства. При переходе в другую тональность нажимают кнопку «сброс» и далее набирают необходимую гамму.

В заключение следует упомянуть о возможностях получения непрерывного глиссандо в электромеханических системах. В этом случае для привода электромеханических генераторов можно использовать синхронный двигатель, чувствительный к частоте пи-

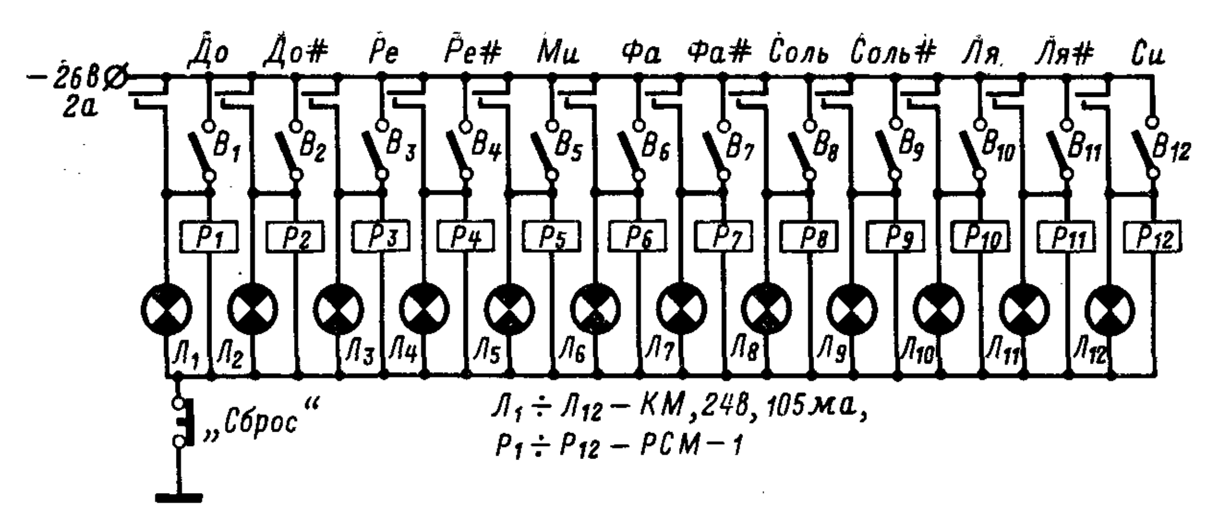



Рис. 88. Управляющее устройство для скачкообразного глиссандо.

тающего напряжения. Если питать его от специального генератора, частоту которого можно регулировать по желанию, то и скорость вращения ротора двигателя будет изменяться.

## 17. УПРАВЛЕНИЕ ГРОМКОСТЬЮ

Различают три способа управления громкостью в ЭМИ — педальный, ручной и пальцевый. Педальное регулирование более гибкое, чем ручное, поэтому лучше совмещать оба способа. Ручной регулировкой пользуются реже, — она позволяет установить желаемую предельную мощность звука. Педаль же работает непрерывно во время исполнения всего музыкального произведения и позволяет добиться нужных динамических оттенков. Требования к этим двум видам регуляторов неодинаковы и определяются той нагрузкой, которую они несут в процессе эксплуатации. Наибольшей выразительности можно достичь пальцевой регулировкой громкости.

Ручные регуляторы могут быть обычного типа, например на основе переменного резистора, но обязательно с показательной зависимостью сопротивления от угла поворота оси. Эти же резисторы (типа В) часто применяют и для педальных регуляторов. Подобные конструкции уже неоднократно описывались в литературе. Основной недостаток их заключается в быстром износе подковки, что приводит к шорохам, трескам и т. п. Иногда переменный резистор косвенно используют для педальной регулировки громкости (рис. 89). Здесь регулируется ток, протекающий через лампочку накаливания, свет которой воздействует на фоторезистор, включенный в схему делителя напряжения. Такой способ позволяет продлить «жизнь» переменного резистора, но полностью проблему не решает.

Идеальной педалью должна быть, очевидно, такая, в которой применен какой-либо бесконтактный способ управления электрическими процессами. На рис. 90 показан ряд устройств для бесконтактного управления громкостью. Первое из них (рис. 90,*а*) содержит делитель напряжения с фоторезистором $R_1$, освещенность которого изменяется движущейся заслонкой, помещенной между окном фоторезистора и источником света $Л_1$. Устройство, изображенное на рис. 90,*б*, представляет собой трансформатор низкой частоты, в котором магнитный поток регулируется стальным сер-



дечником. Другое устройство (рис. 90,*в*) с регулируемым сердечником имеет две вторичные обмотки *II* и *III*, которые включены встречно и параллельно. Поэтому при среднем положении сердечника сигнал на выходе отсутствует. При перемещении сердечника напряжение в одной из обмоток увеличивается, а в другой уменьшается и на выходе появляется разностный сигнал. Емкостный регулятор (рис. 90,*г*) можно реализовать с электронной лампой с очень большим входным сопротивлением, например электрометрической. Все эти устройства без принятия специальных мер (например, транспонирование звукового сигнала в область ультразвуковой частоты) имеют недостаточный динамический диапазон, а устройства, показанные на рис. 90,*б—г*, кроме этого и большие частотные искажения, вызываемые сильной зависимостью амплитудно-частотной характеристики от положения регулирующего элемента.

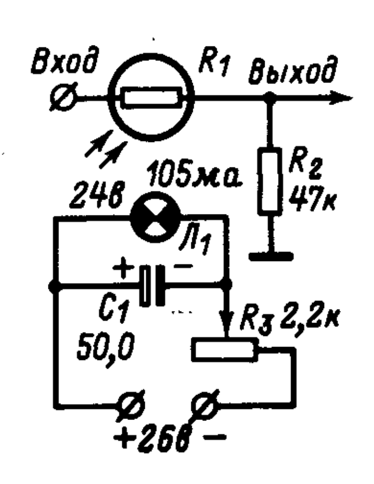



Рис. 89. Регулятор громкости с фоторезистором.

От этих недостатков свободна электронная педаль (рис. 91). Генератор ультразвуковой частоты (100 *кгц*), собранный на транзисторе $T_1$ по схеме индуктивной трехточки, вырабатывает синусоидальное напряжение, поступающее через конденсатор $C_2$ на детектор. Таким образом, конденсатор $C_2$ служит управляющим элементом регулирования громкости. Конструктивное оформление его не вызы-

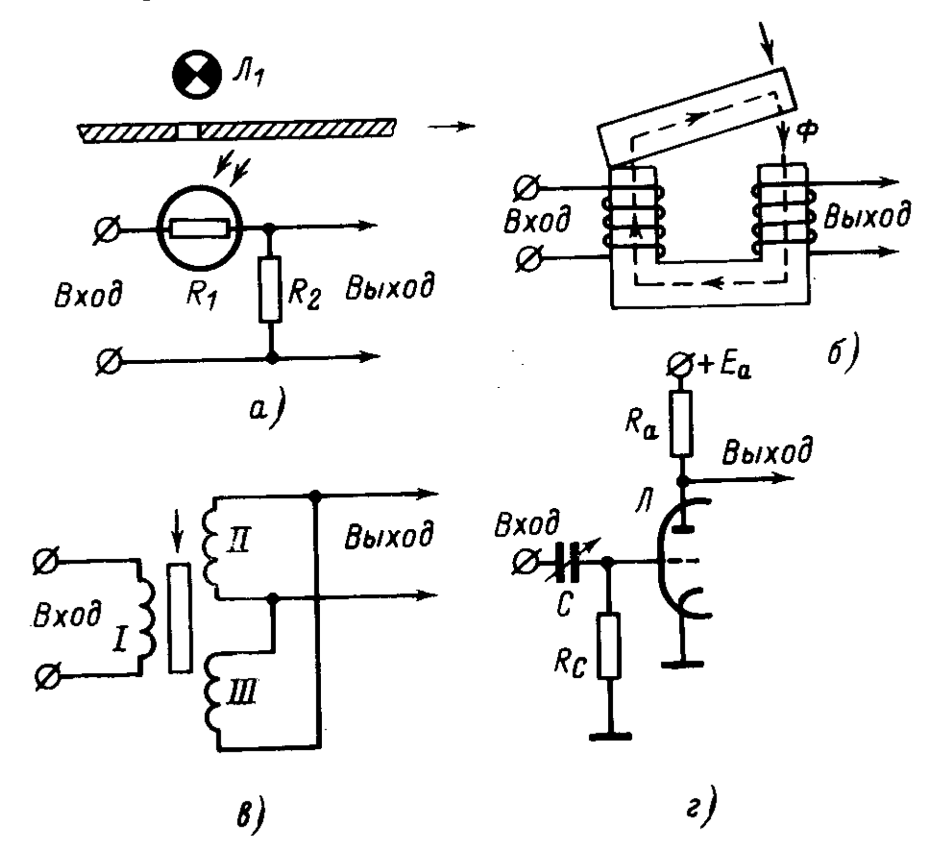



Рис. 90. Бесконтактные регуляторы громкости.

*а* — с заслонкой; *б* — с подвижной частью сердечника; *в* — с регулируемым сердечником; *г* — емкостный.

вает особых затруднений: он состоит из подвижной и неподвижной пластин фольгированного гетинакса. Площадь каждой пластины равна 20 *см²*; емкость конденсатора при сближении пластин изменяется от 1 до 15 *пф*. При этом будет изменяться и переменное напряжение на входе детектора, который собран по схеме с удвоением напряжения на диодах $Д_1$ и $Д_2$. Эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе $T_2$,— усилитель постоянного тока. С его выхода постоянное по знаку и отрицательное относительно общего провода напряжение поступает на выходной каскад инструмента (транзисторы $T_3$ и $T_4$). Напряжение, снимаемое с нагрузки эмиттерного повторителя, изменяется пропорционально изменению емкости кондесатора $C_2$ и, будучи приложенным к базам транзи-

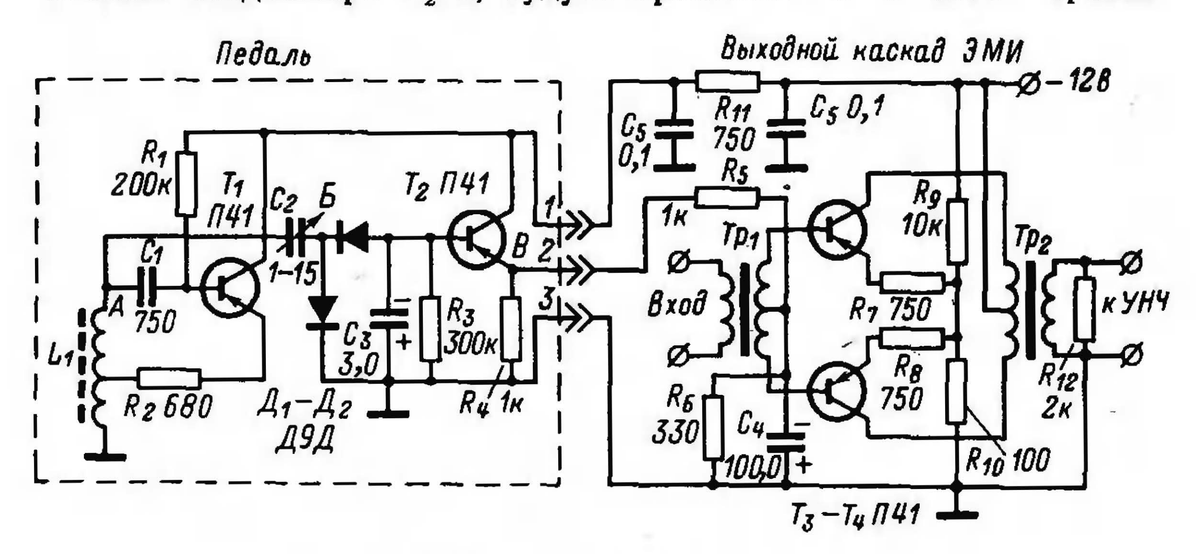



Рис. 91. Электронная педаль.

сторов выходного каскада, регулирует коэффициент его усиления. При некотором небольшом управляющем напряжении, когда педаль находится в отжатом положении , выходной каскад практически заперт отрицательным напряжением, поступающим в цепи эмиттеров транзисторов $T_3$ и $T_4$ через делитель напряжения $R_9$ и $R_{10}$. При сближении пластин конденсатора $C_2$ отпирающее напряжение на базах этих транзисторов возрастает и каскад полностью отпирается. Выходной каскад может работать как манипулятор; в этом случае контакты, управляющие им, должны быть включены последовательно с резистором $R_5$. Фильтр $R_{11}C_5$ устраняет проникание напряжения ультразвуковой частоты в звуковой канал.

Испытания электронной бесконтактной педали и ее опытная эксплуатация показала полную пригодность такой педали для применения в одноголосных инструментах. В электроорганах ее применение ограничено, так как изменение рабочей точки транзистора выходного каскада приводит к возникновению комбинационных искажений при малых уровнях громкости. Однако при значительном уменьшении уровня выходного сигнала (с последующим усилением) можно добиться весьма чистого звучания.

Нелинейность выходного каскада в одноголосном ЭМИ может привести к некоторому изменению тембра при регулировке громкости; во избежание этого на его вход следует подавать звуковое напряжение амплитудой не более 10—20 *мв*. При этом вносимые нелинейные искажения каскада не превысят 3—5%.



Некоторые характеристики описываемой педали, которые могут понадобиться при ее наладке, приведены в табл. 11.

*Таблица 11*

| Вид измерений | Результаты измерений | |
|---|---|---|
| | $C_{2макс}$ = 15 *пф* | $C_{2мин}$ = 1 *пф* |
| $U_{дейст}$ на контуре в точке *А*, *в* | 20 | 20 |
| $U_{дейст}$ в точке *Б*, *в* | 1,5 | 0,3 |
| $U_=$ в точке *В*, *в* | 4 | 0,8 |
| Напряжение звукового сигнала на выходе $Тр_2$, *мкв* | 240 | 0,5 |
| Расстояние между пластинами $C_2$, *мм* | 1,5 | 18 |

В схеме электронной педали могут быть применены транзисторы МП40—МП42 с любым буквенным индексом, резисторы МЛТ или УЛМ. Катушка $L_1$ намотана на ферритовом стержне 600 НМ диаметром 8 *мм* и длиной 20 *мм*. Она содержит 400 витков провода ПЭЛШО 0,14 с отводом от 100-го витка, считая от заземленного конца. Вся схема педали собрана на печатной плате и укреплена внут-

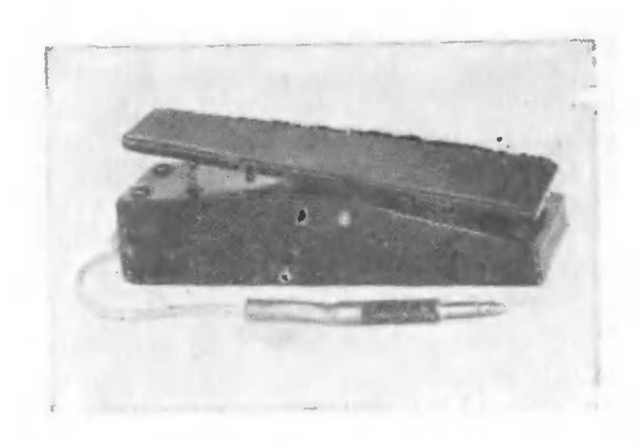


Рис. 92. Внешний вид электронной педали.

ри металлического кожуха, служащего одновременно экраном. На этой же плате размещен участок фольги, служащий неподвижной пластиной конденсатора $C_2$. Подвижная пластина прикреплена к движущейся части педали, и подпайка к ней сделана металлической канителью. К инструменту педаль можно подсоединить трехпроводным телефонным штекером ШТП или разъемом. Внешний вид педали показан на рис. 92.

## 18. НАСТРОЙКА

Настроить ЭМИ на необходимые частоты по шкале ОСТ ВКС-7710 для радиолюбителя-конструктора, не имеющего специальной аппаратуры, — работа трудоемкая.

Органы настройки ЭМИ обычно представляют собой либо переменные резисторы, либо контурные катушки с подвижными сердечниками. В обоих случаях для длительного сохранения строя обязательно должны применяться специальные устройства для жесткой фиксации подвижных частей органов настройки. Лучшие результаты дает применение резисторов СП-2 (с контргайкой).

Каждый из органов настройки должен давать возможность изменять высоту звука не менее, чем на ±0,5 тона для того, чтобы можно было учесть незначительную расстройку других инструментов оркестра. Более широкий диапазон перестройки делать не следует, так как точная настройка будет затруднена.

В лабораторных и заводских условиях на стандартную шкалу частот настраивают с помощью прецизионных цифровых частотомеров (ЧЗ-3, ЧЗ-4, Ф519). Если в распоряжении радиолюбителя есть точно отградуированный звуковой генератор и осциллограф, то настройку можно производить методом фигур Лиссажу, однако точность ее всегда будет зависеть от качества звукового генератора. Проще всего настроить инструмент по какому-либо другому хорошо настроенному инструменту, ориентируясь на отсутствие биений при точном совпадении высоты тона. Однако для такой настройки необходим достаточный опыт и хороший слух.

Очень точно можно настроить инструмент по квинтовому или квартовому кругу. Этим методом пользуются многие настройщики фортепиано. Исходным для настройки должен быть лишь один тон, который можно получить от камертона. Наиболее распространены камертоны, настроенные на ноту *ля* первой октавы (440 *гц*), поэтому настройку начинают именно с нее, добиваясь точного унисона. Затем переходят к настройке следующей ноты по квинтовому кругу, а именно ноты *ми* второй октавы. Высоту тона *ми* устанавливают сначала в интервал чистой квинты с тоном *ля*, т. е. при одновременном длительном звучании обоих тонов между ними не должно прослушиваться ни одного биения. Затем понижают верхний тон (в данном случае *ми*) до тех пор, пока в звучании обоих тонов не будет отчетливо слышно биение в секунду. Это служит признаком правильности настройки. Затем, приняв за опорный уже настроенный тон *ми*, переходят к настройке тона *си*. Если настраиваемый тон берется ниже опорного, то нужно повышать его высоту. Во всяком случае, нужно помнить, что интервал темперированной квинты несколько меньше чистой.

При правильной настройке круг «замкнется», т. е. последняя нота круга и *ля* первой октавы будут настроены верно. Настройка многоголосного инструмента с делителями частоты требует меньше усилий, так как достаточно точно настроить одну октаву, а остальные тона окажутся настроенными автоматически. В других случаях нужно еще настраивать октавы, опираясь на настроенные 12 тонов. В длительном звучании октав не должно быть слышно ни одного биения.

Глава пятая

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ И ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ ОДНОГОЛОСНЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

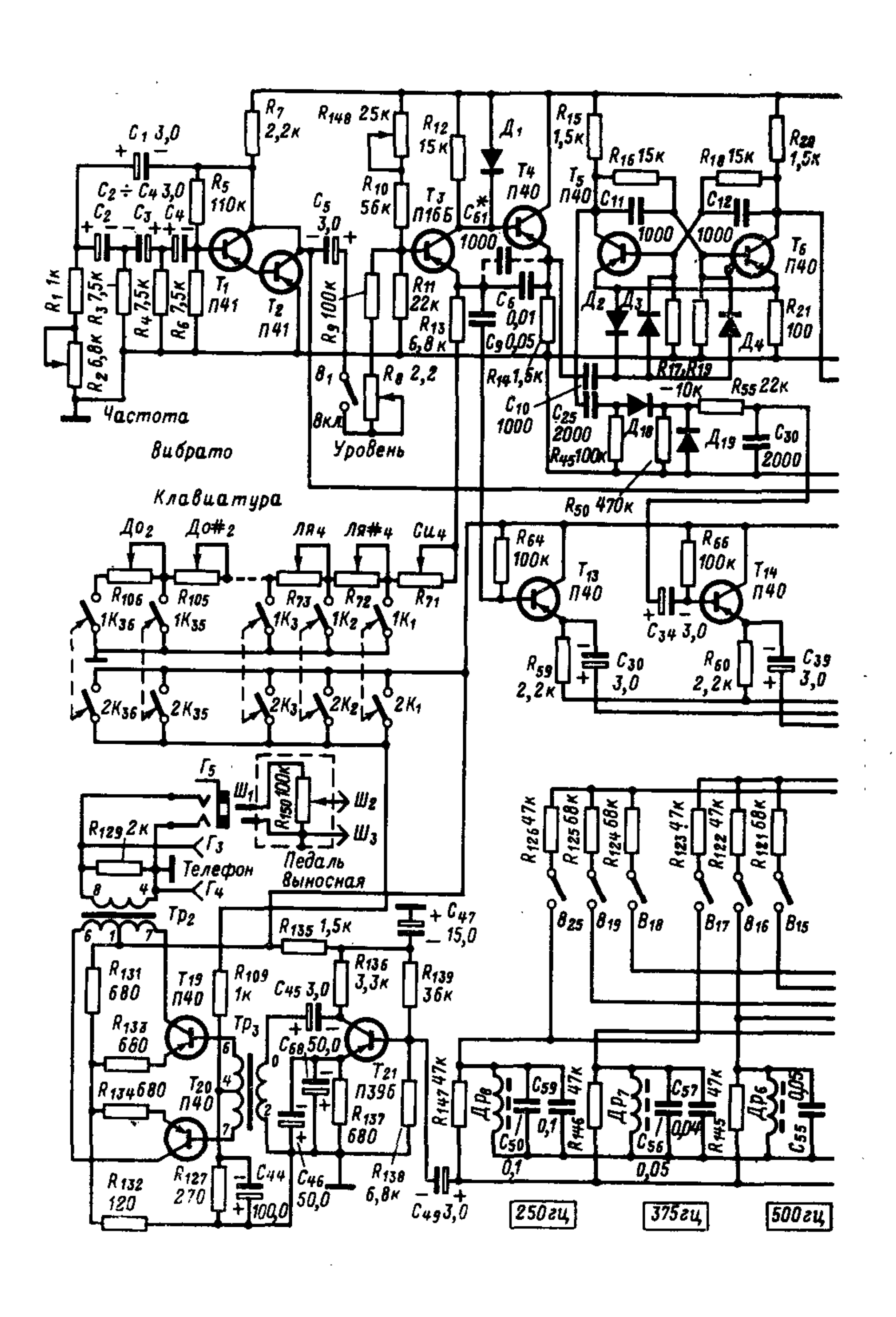
## 19. «РОМАНТИКА»

Одноголосный многотембровый инструмент «Романтика» («Эстрадин-3») выпускают у нас с 1965 г. Благодаря портативности, небольшому весу (21 *кГ* вместе с футляром и комплектом принадлежностей) и большим тембровым возможностям он получил высокую оценку у музыкантов. Схема инструмента (рис. 93) несложна и ее можно рекомендовать для повторения радиолюбителю средней квалификации.

Диапазон инструмента по клавиатуре — 3 октавы. Он работает от релаксационного задающего генератора (транзисторы $T_3$ и $T_4$), частота которого переключается первыми контактами ($1K_1$—$1K_{36}$) клавиатуры. Вторые контакты ($2K_1$—$2K_{36}$) служат для управления манипулятором. Частота задающего генератора может быть изменена клавиатурой в пределах второй, третьей и четвертой октав. Частотозадающие резисторы применены типа СП-II, они позволяют установить частоту каждого полутона инструмента с точностью 0,1%. Резистор $R_{148}$ служит для общей подстройки, его сопротивление выбрано таким, что весь строй инструмента может быть передвинут на $^1/_2$ тона вверх или вниз без нарушения интервалов. Конденсатор $C_{61}$ устанавливают лишь при необходимости подгонки диапазона инструмента. На базу транзистора $T_3$ через ограничивающие резисторы $R_8$ и $R_9$ поступает напряжение с генератора вибрато ($T_1$, $T_2$) для частотной модуляции выходного напряжения задающего генератора. Уровень девиации частоты регулируют переменным резистором $R_8$, а частота вибрато в пределах 5—8 *гц* резистором $R_2$.

С помощью четырех триггеров ($T_5$—$T_{12}$) достигается четырехкратное октавное понижение высоты тона. Таким образом, высота тона выходного напряжения последнего делителя частоты в этой цепочке изменяется уже в контроктаве, большой и малой октавах, что соответствует регистру 16′. Для получения пилообразной формы напряжения к каждому триггеру подключена диодная цепочка преобразователя спектра. Для согласования с нагрузкой все пять напряжений, соответствующих регистрам 1′ (с задающего генератора), 2′ (с первого триггера), 4′ (со второго триггера), 8′ (с третьего триггера) и 16′ (с четвертого триггера), подаются на входы пяти эмиттерных повторителей ($T_{13}$, $T_{14}$, $T_{16}$, $T_{17}$, $T_{18}$) и далее в темброблок. Чтобы получить тембр кларнета, на один из эмиттерных повторителей ($T_{16}$) напряжение подается непосредственно с третьего триггера через делитель напряжения $R_{47}$—$R_{52}$.

Кроме частотного вибрато, инструмент имеет два тембра с громкостным (амплитудным) вибрато. Включаются эти тембры в регистре 8′ переключателем $B_{13}$, а в регистре 4′ переключателем $B_6$. Амплитудная модуляция звукового напряжения достигается при изменении сопротивления диодов $Д_{26}$ и $Д_{27}$, образующих с резистора-




750гц 1000гц 1500гц 2500гц

Батарея

Вкл

Сеть 127/220В

Примечания: $Д_1-Д_{13}$, $Д_{18}-Д_{27}$ – Д9Б; $В_3$ – 1′; $В_4-В_5$ – 2′; $В_6-В_9$ – 4′; $В_{10}-В_{17}$ – 8′; $В_{10}-В_{20}$ – 16′. $В_1$ – Выкл. вибрато; $В_2$ – выкл. сети

Рис. 93. Принципиальная схема одноголосного ЭМИ «Романтика».

ми $R_{107}$ и $R_{108}$ делители напряжения. Управляющее напряжение с генератора вибрато подается на аноды диодов.

Темброблок инструмента содержит семь формантных контуров, настроенных на частоты (по схеме слева направо) 250, 375, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 500 *гц*. Напряжение регистра 1′ подается к выходу через *RC*-фильтр нижних частот $R_{128}$—$C_{48}$. Остальные напряжения фильтруются формантными контурами, которые через развязывающие резисторы $R_{140}$—$R_{147}$ подключены к предварительному усилителю, выполненному на транзисторе $T_{21}$. Далее напряжение звуковой частоты поступает на двухтактный манипулятор, работа которого была описана ранее. Ко вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_2$ подключена педаль, содержащая переменный резистор $R_{150}$. Выход педали может соединяться со входом любого усилителя звуковой частоты, имеющего чувствительность не хуже 100—200 *мв*. Кроме этого, в инструменте имеются гнезда $Г_3$—$Г_4$ для подключения головных телефонов (наушников) ТОН-2 для «тихой» игры, что создает известные удобства для музыканта, позволяя ему играть, не мешая окружающим.

Блок питания содержит феррорезонансный стабилизатор напряжения, состоящий из первичной обмотки трансформатора питания $Тр_1$ и конденсатора $C_{24}$. Рабочее напряжение конденсатора во избежание пробоя должно быть не менее 600 *в*. К первичной обмотке подключена неоновая лампа ИН-3, служащая для индикации включения инструмента в сеть. Выпрямитель собран по мостовой схеме, выпрямленное напряжение фильтруется фильтром, в который входит дроссель $Др_1$ и конденсаторы $C_{22}$, $C_{23}$. Дополнительные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ служат для подключения внешнего источника питания (батарей либо аккумуляторов) напряжением 12 *в*. Диод $Д_{28}$ разделяет внешний источник и выпрямитель на случай их совместного включения. Диод $Д_{29}$ предотвращает возможные повреждения инструмента при неправильной полярности подключения батарей.

Намоточные данные трансформаторов и дросселей приведены в табл. 12.

*Таблица 12*

| Обозначение | Обмотка | Число витков | Марка и диаметр провода, *мм* | Сердечники | Индуктивность, *гн* |
|---|---|---|---|---|---|
| $Тр_1$ | 1—2 | 1 600 | ПЭВ-2 0,2 | Ш16×22 | — |
| | 2—3 | 400 | То же | Сталь Э41 | — |
| | 5—6 | 200 | ПЭВ-2 0,41 | | |
| | 4 | 220 | ПЭВ-2 0,1 | | |
| $Тр_2$ | 6—1—7 | 500+500 | ПЭВ-1 0,1 | Пермаллой | — |
| | 4—8 | 500 | То же | Ш5×10 | |
| $Тр_3$ | 6—4—7 | 250+250 | » » | Ш5×10 | — |
| | 2—8 | 1 000 | » » | Ш9×9 | |
| $Др_1$ | — | 1 300 | ПЭВ-1 0,25 | Сталь Э41 | — |
| $Др_2$—$Др_6$ | — | 1 400 | ПЭВ-1 0,06 | Оксифер 2 000 МН | 0,6 |
| $Др_7$—$Др_8$ | — | 3 000 | ПЭВ-2 0,05 | То же | 2 |

Монтаж инструмента выполнен на четырех печатных платах. Генератор вибрато, задающий генератор и первый делитель частоты (триггер) смонтированы на одной плате. Остальные три делителя частоты вместе с преобразователями спектра смонтированы на другой плате; все эмиттерные повторители — на третьей плате, а на



четвертой плате размещены темброблок с предусилителем и манипуляторы. На переднюю панель инструмента выведены органы управления (слева направо): регуляторы уровня и частоты вибрато, выключатель вибрато, три переключателя тембров регистра 16′, восемь переключателей регистра 8′, четыре переключателя регистра 4′, два переключателя регистра 2′, переключатель регистра 1′, выключатель сети и ручка потенциометра общей подстройки.

Налаживание полностью собранного инструмента сводится к регулировке контактов клавиатуры (для полного устранения «щелчков» контакт манипулятора должен замыкаться позже и размыкаться раньше, чем контакт, включающий задающий генератор), после чего можно приступить к настройке, начиная с самой крайней правой клавиши.

## 20. «РОМАНТИКА-2»

В этом инструменте использован метод гармонического синтеза тембра с плавным регулированием уровня любой из следующих семи гармоник: основной, второй, третьей, четвертой, шестой, восьмой и двенадцатой.

Диапазон инструмента по клавиатуре расширен до 3,3 октавы (от звука *до* до *ми* включительно). Кроме автоматического вибрато он позволяет получить и пальцевое вибрато.

Задающий генератор инструмента «Романтика-2» (рис. 94) отличается от генератора «Романтика» емкостью конденсатора $C_1$, что связано с изменением диапазона генерируемых частот. Цепочка переменных резисторов $R_6$—$R_{46}$ настроена на частоты музыкальной шкалы, начиная с 783,9 *гц* (*соль* второй октавы) и кончая 7902,1 *гц* (*си* пятой октавы). К задающему генератору подключена цепочка восьми триггеров ($ДЧ_1$—$ДЧ_8$).

На рис. 94 они показаны условно вследствие того, что схемы их не отличаются друг от друга. $ДЧ_1$ вместе с $ДЧ_2$ составляет делитель частоты на три, таким образом, частота выходного напряжения $ДЧ_2$ изменяется в пределах от *до* первой октавы до *ми* четвертой октавы. В дальнейшем деление происходит так, что если принять частоту выходного напряжения с $ДЧ_5$ за основную, то напряжения на выходах других делителей будут иметь частоты в целое число раз выше основной, т. е. по первой гармонике они будут обертонами последней. Номера обертонов обозначены около выходов делителей частоты на схеме.

С выходов триггеров напряжения подаются на фильтры нижних частот для ослабления высших гармоник, причем наиболее низкие тоны (с делителей $ДЧ_5$, $ДЧ_4$, $ДЧ_8$ и $ДЧ_3$), обладающие большим комплексом высших составляющих, находящихся в слышимой области частот, требуют более действенной фильтрации и поэтому подаются на *LC*-фильтры. Более высокие тоны достаточно хорошо отфильтровывают *RC*-фильтры. Чтобы избежать шунтирования при точном совпадении генерируемой частоты с частотами настройки фильтров, выходы триггеров развязаны резисторами $R_{58}$—$R_{61}$. Амплитуду обертонов регулируют переменными резисторами $R_{73}$—$R_{79}$, на осях которых укреплены специальные барабаны с указателями, по которым можно судить о степени подключения данного обертона. Указатели совместно с градуировкой позволяют запоминать ту или иную комбинацию, соответствующую нужному тембру. Кроме того, градуировка очень полезна при исследовании связей,

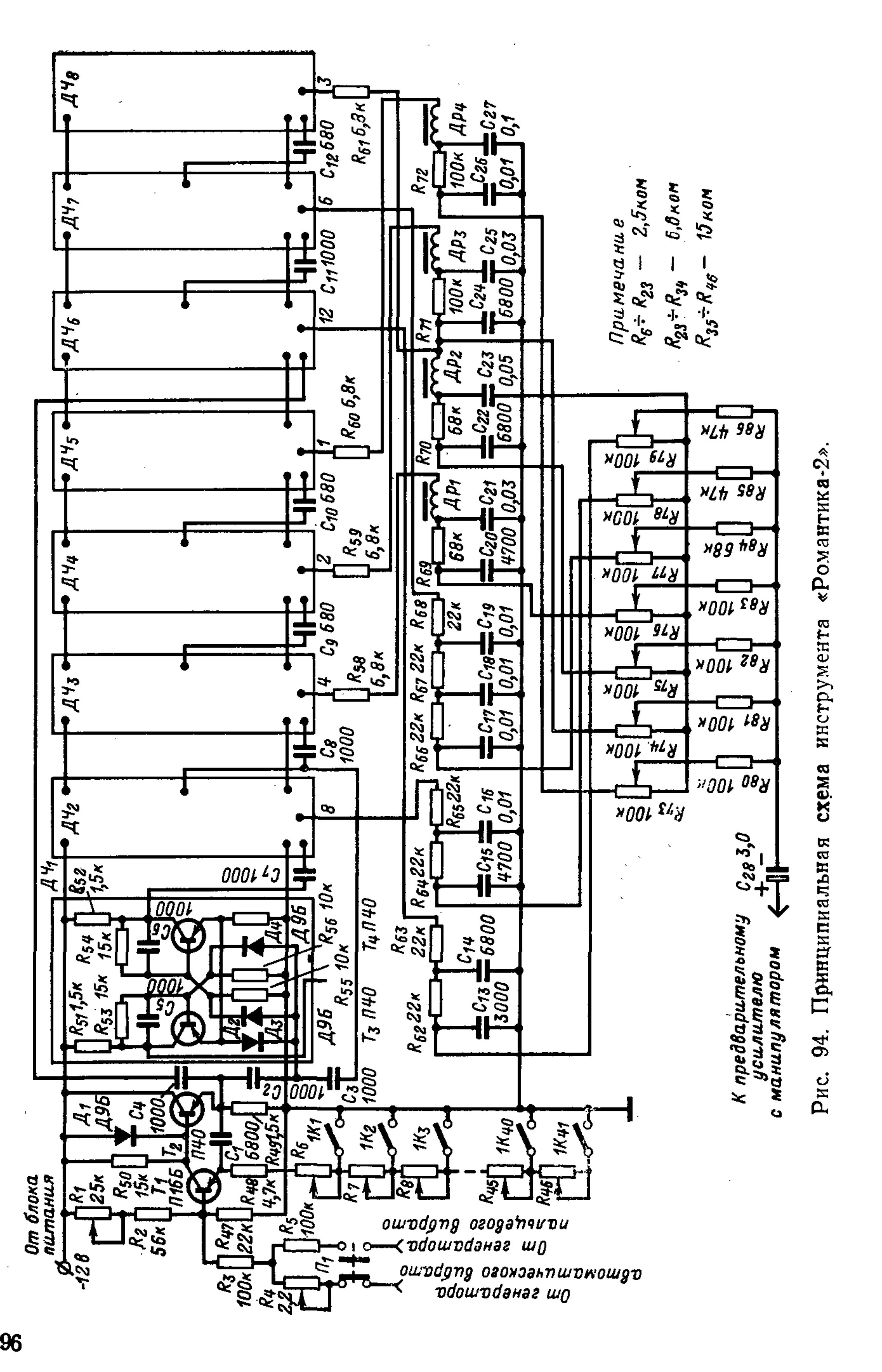



Рис. 94. Принципиальная схема инструмента «Романтика-2».

существующих между тембром и его спектральными характеристиками.

С выхода регуляторов тембра результирующее напряжение поступает на предварительный усилитель с манипулятором, схема которых ничем не отличается от аналогичных узлов инструмента «Романтика». На базу транзистора задающего генератора подается модулирующее напряжение от одного из генераторов вибрато, либо автоматического, либо пальцевого. Вид вибрато устанавливается переключателем $П_1$. Глубина автоматического вибрато регулируется резистором $R_4$.

Инструмент питается от стабилизированного источника питания, примененного в ЭМИ «Гамма».

Дроссели фильтров выполнены на пермаллоевых сердечниках Ш5×10, $Др_1$ и $Др_2$ и имеют индуктивность 0,6 *гн* (250 витков провода ПЭВ-2 0,1), $Др_3$ и $Др_4$—2 *гн* (475 витков провода ПЭВ-2 0,1).

## 21. «РОМАНТИКА-3»

«Романтика-3» — усовершенствованный одноголосный инструмент «Романтика». Оригинальная часть схемы приведена на рис. 95. Остальные узлы схемы легко можно восстановить по описанию. «Романтика-3» отличается от «Романтики» расширенными тембро-динамическими возможностями при меньшем количестве частотозадающих элементов.

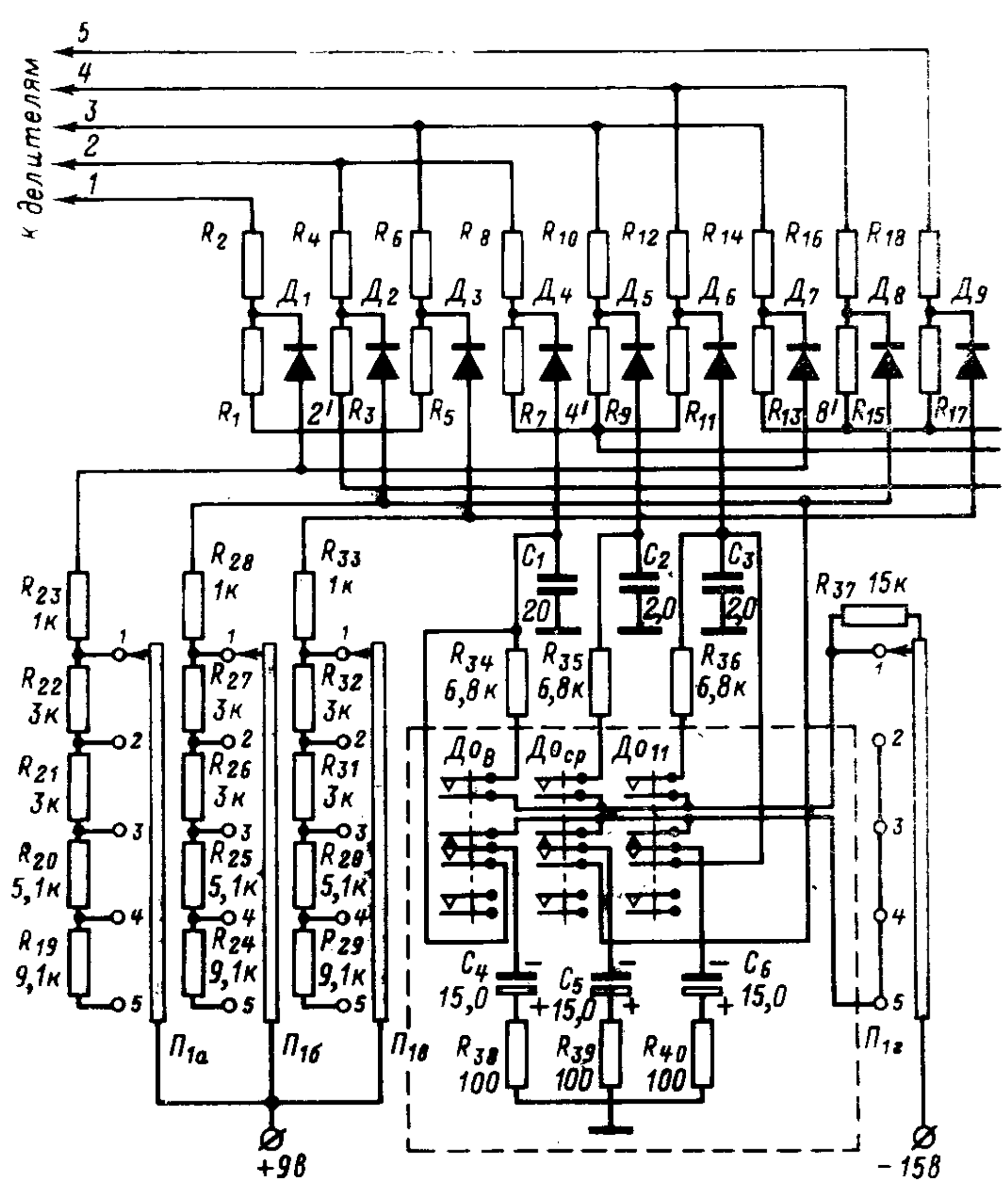
Задающий генератор инструмента собран по схеме, аналогичной схеме «Романтика», но содержит лишь 12 частотозадающих резисторов, что значительно уменьшает стоимость и габариты инструмента. При помощи этих резисторов задающий генератор настраивают на частоты музыкальной шкалы четвертой октавы (от 2 093,3 до 3 951 *гц*). К задающему генератору подключена цепочка из пяти октавных делителей (триггеров), выходы которых подключены к диодному переключателю ($R_1$—$R_{18}$; $Д_1$—$Д_9$), одновременно выполняющему функции манипулятора.

На схеме показаны контакты клавишей *до* в нижней, средней и верхней октавах (диапазон клавиатуры «Романтика-3» составляет 3 октавы). Элементы схемы, обведенные штриховой линией, повторяются для каждой клавиши. Нижние (по схеме) контакты коммутируют частотозадающие цепи задающего генератора, при этом контактные пары одноименных нот включаются параллельно. Верхние (по схеме) нормально разомкнутые контакты служат для выбора октавы и создания мягкой атаки. Контактные пары октавы также включены параллельно. При замыкании одной из пар контактов напряжение —15 *в* подается на один из конденсаторов $C_1$—$C_3$, заряжая его. На аноды диодов диодного переключателя по трем раздельным каналам подводится положительное напряжение, отпирающее диоды, поэтому можно считать, что при ненажатых клавишах узловые точки диодного переключателя заземлены. Аноды диодов объединены в три группы (соответственно трем октавам инструмента). Когда нажата одна из клавишей, например *до* верхней октавы, то в первый момент включается задающий генератор на частоте 2 093 *гц* (то же произойдет, если нажать любую из клавишей *до*), затем по мере заряда конденсатора $C_1$ начинают запираться диоды $Д_1$, $Д_4$ и $Д_7$. Одновременно на входах эмиттерных повторителей ($T_1$—$T_3$) появляются напряжения в регистрах 2′, 4′ и 8′, находящиеся в интервалах октавы. При нажатии клавиши *до*

средней октавы на входы повторителей поступают звуковые напряжения уже не с первого, второго и третьего делителей, как в предыдущем случае, а со второго, третьего и четвертого, и т. д. При установке переключателя $П_1$ в положения 2—5, конденсаторы $C_4$—$C_6$ получат отрицательный заряд и при нажатии соответствующих клавишей будут быстро разряжаться через конденсаторы $C_1$—$C_3$, вызывая быстрое нарастание амплитуды колебаний и спад ее до определениого уровня, определяемого сопротивлением резистора $R_{37}$. Такой вид манипуляции создает ощущение ударного звука. Для ударных звуков в инструменте предусмотрено четыре градации времени затухания (в соответствии с положением переключателя $П_1$).

Каждый из эмиттерных повторителей имеет два выхода: сигнала прямоугольной формы (кларнетного тембра) и сигнала пилообразной формы, получаемого от диодного преобразователя.

Кларнетовые тембры вводят выключателями $В_1$—$В_3$, при этом сигнал проходит *RC*-фильтры нижних частот и через резистор $R_{64}$ подводится к педальному регулятору громкости. Более богатые по спектру сигналы пилообразной формы подводятся к системе из десяти резонансных контуров, включенных последовательно. Частоты настройки их указаны на схеме. Дроссели контуров выполнены на сердечнике Ш5×10 (пермаллой) и имеют следующие данные: $Др_1$—$Др_3$ — индуктивность 2 *гн* (475 витков провода ПЭВ 0,1);




Примечания:
$R_1 \div R_{18}$ все по 68 *ком*, $Д_1 \div Д_{12}$ Д9Д

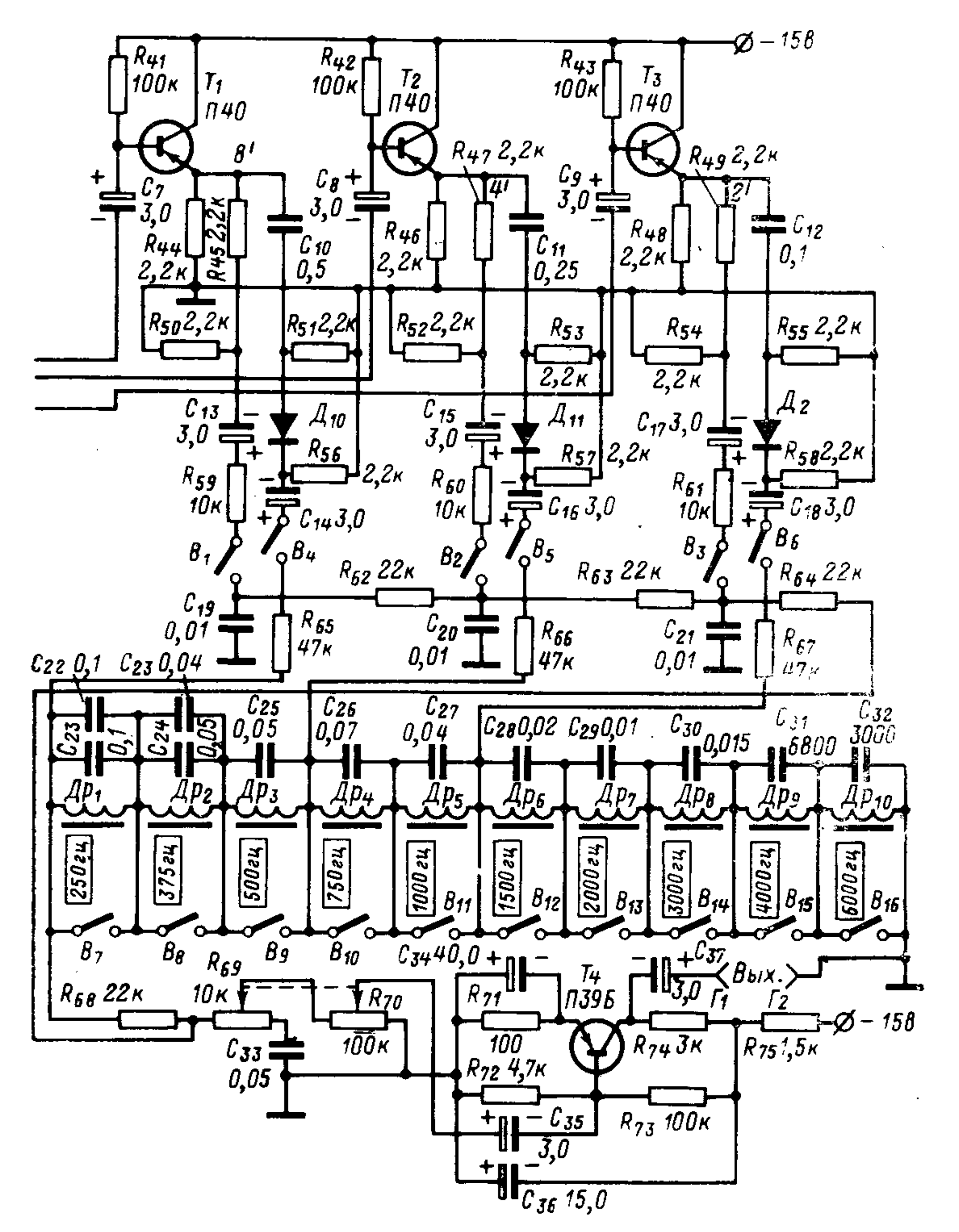



**Рис. 95. Принципиальная схема инструмента «Романтика-3».**



7*

$Др_4$—$Др_7$ — индуктивность 0,6 *гн* (250 витков провода ПЭВ 0,18), $Др_8$—$Др_{10}$ — индуктивность 0,2 *гн* (170 витков провода ПЭВ 0,18). Выход формантного блока соединен с регулятором громкости.

Регулятором громкости в данном инструменте служит сдвоенный потенциометр $R_{69}$—$R_{70}$ с компенсацией искажений амплитудно-частотной характеристики на низших звуковых частотах. Применение его позволило максимально расширить динамический диапазон регулирования громкости. Для повышения уровня выходного сигнала служит усилитель, выполненный на транзисторе $T_4$.

Характерная особенность «Романтики-3» — возможность одновременного получения звука от клавишей, находящихся в интервале октавы. В некоторых случаях эта особенность может быть полезна.

## 22. ГРИФОВЫЙ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Грифовый инструмент конструктивно выполнен наподобие гитары. Он позволяет имитировать звучание струнных смычковых инструментов (виолончель, альт), щипковых (гитара, мандолина, банджо и т. п.) и некоторых духовых, использующих прием глиссандирования (например, тромбон).

По количеству необходимого оборудования и простоте настройки инструмент вполне доступен для повторения. Основное его назначение — игра в оркестре. В инструмент (рис. 96) входят следующие узлы.

Задающий генератор, частота которого изменяется при помощи грифа $R_7$, собран на транзисторах $T_1$ и $T_2$. Гриф изготовлен из текстолитового прутка диаметром 18 *мм* и длиной 540 *мм*. На нем виток к витку уложен нихромовый провод ПЭВНХ 0,07. Длина намотки — 490 *мм*, сопротивление грифа — около 50 *ком*. Не следует делать гриф слишком коротким, так как играть на нем будет трудно.

Гриф лучше всего намотать на токарном станке. После намотки во избежание повреждения обмотки при эксплуатации нужно хорошо проклеить витки клеем БФ-2. Для надежного контакта по одной из образующих цилиндра грифа по ширине около 7 *мм* изоляцию осторожно снимают микронной наждачной бумагой. После этого гриф закрепляют в деревянном ложе, поверх него натягивают галун, предварительно склеенный с полоской тонкого сукна или шелка соответствующей длины и ширины. Галун и служит контактирующей поверхностью грифа, которая соединяется с шасси.

Гриф перекрывает диапазон в 2,3 октавы, таким образом весь диапазон инструмента составит около шести октав. При установке переключателя $П_1$ в положение *К* самая низкая нота на грифе будет *соль* контроктавы, при установке $П_1$ в положение *2* самая высокая нота — *ре* пятой октавы. Чтобы сохранить привычную для музыканта мензуру, гриф не следует делать переменного сечения или наматывать с прогрессирующим шагом.

Пилообразное напряжение с эмиттера транзистора $T_2$ поступает на эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе $T_3$, служащий буферным каскадом между задающим генератором и темброблоком.

Первая ветвь тембробдока, включающая дроссель $L_1$, создает мягкие, приглушенные тембры, имитирующие звучание контрабаса в диапазоне большой и малой октав (переключатель $B_2$) и виолон-



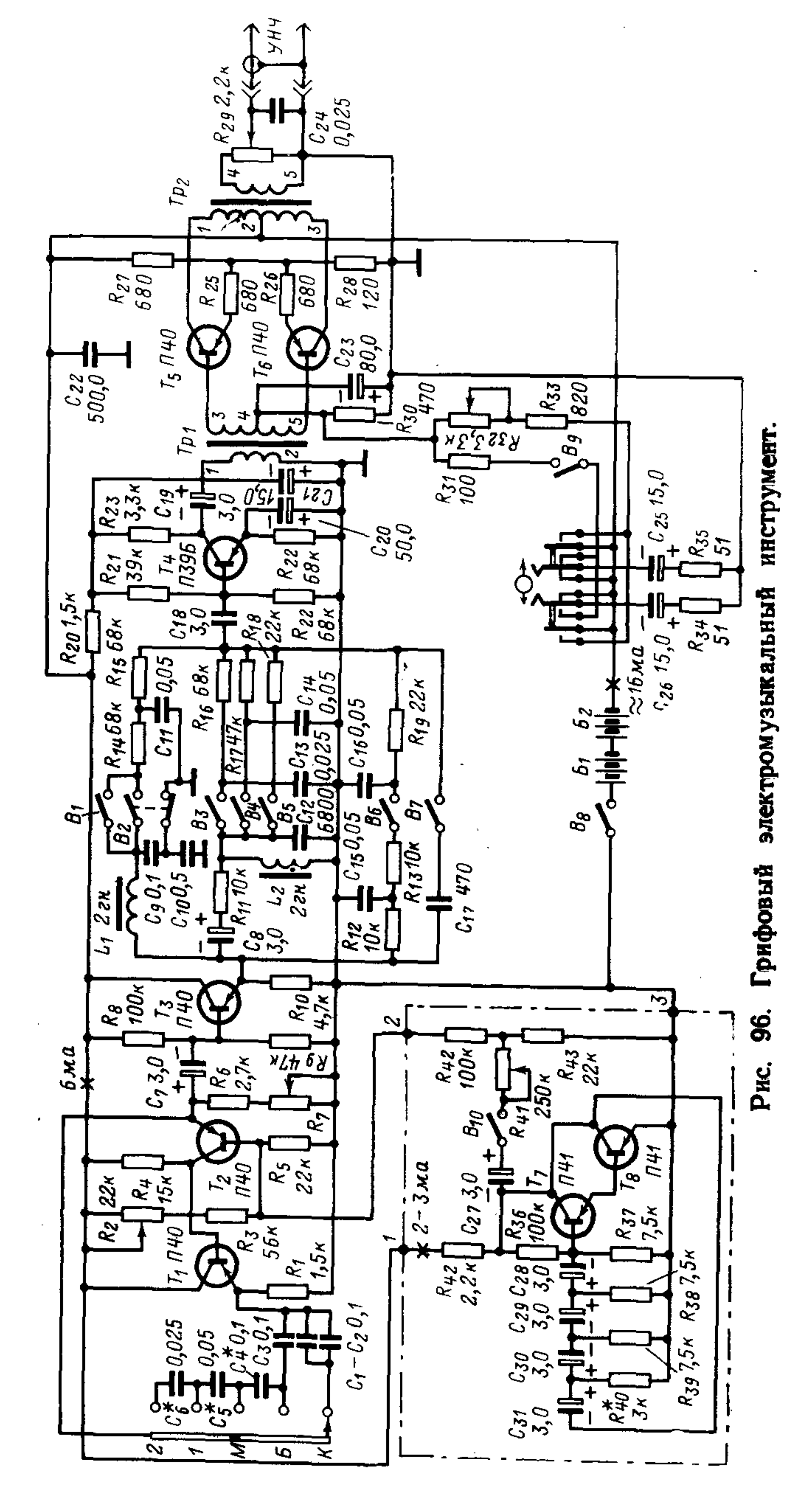


Рис. 96. Грифовый электромузыкальный инструмент.

челн ($B_1$). Верхние октавы лежат вне полосы прозрачности фильтра тона и поэтому использовать эту цепочку на первой, второй и третьей октавах невозможно. Вторая ветвь темброблока ($B_3$, $B_4$, $B_5$) содержит формантный контур $L_2$ и $C_{12}$—$C_{14}$. При надлежащем выборе диапазона и тембра при помощи этой цепочки можно хорошо имитировать звучание гавайской гитары, мандолины, балалайки.

Третья тембровая цепочка состоит из $RC$-фильтра нижних частот, зашунтированного конденсатором $C_{17}$. При одновременном включении переключателей $B_6$ и $B_7$ частотная характеристика фильтра имеет провал на средних частотах.

Дроссели $L_1$ и $L_2$ собраны на пермаллоевых сердечниках Ш5×10 и содержат по 475 витков провода ПЭВ-2 0,15. Для переключателей $B_1$ и $B_3$—$B_8$ могут быть применены тумблеры ТВ2-1, а для $B_2$ — ТП1-2. Предварительный усилитель собран на транзисторе $T_4$ типа МП39Б, он имеет усиление по напряжению около 40 *дб*. Манипулятор, собранный по двухтактной схеме на транзисторах $T_5$ и $T_6$, нормально заперт по цепи эмиттеров при помощи делителя $R_{27}$, $R_{28}$.

Играют на инструменте так. Левой рукой музыкант выбирает на грифе инструмента нужный лад и прижимает галун к грифу. При этом начинает работать задающий генератор и на зажимах 3—5 трансформатора $Tp_1$ появляется звуковое напряжение выбранного тембра и высоты. Однако на выходе манипулятора звуковое напряжение появится лишь в том случае, если исполнитель правой рукой нажмет на ключ $K$ вверх или вниз (ключ $K$ телефонный, типа КТРО без фиксации ролика). Такой способ игры привычен для людей, играющих, например, на гитаре, где аналогичная манипуляция производится путем удара по струне.

При нажатии на ключ отрицательное напряжение с батареи питания через цепочку $R_{32}$, $R_{33}$ поступает на базы транзисторов манипулятора и отпирает его постепенно, по мере заряда конденсатора $C_{23}$. При отпускании ключа конденсатор $C_{23}$ разряжается через резистор $R_{30}$ и манипулятор снова запирается. Время атаки звука может быть в известных пределах изменено резистором $R_{32}$.

Выключатель $B_9$ включает регистр щипковых инструментов. При повороте ключа в ту или иную сторону предварительно заряженные конденсаторы $C_{26}$ и $C_{25}$ быстро разряжаются через базовые цепи транзисторов манипулятора, что создает впечатление ударного звука (щипка). Уровень, до которого затухает сигнал, можно регулировать резистором $R_{32}$. При возврате ключа в среднее положение разрядившийся конденсатор $C_{26}$ ($C_{25}$) быстро заряжается. Уровень громкости сигнала, поступающего на усилитель *НЧ* (к гнездам «звукосниматель»), регулируют потенциометром $R_{29}$. Конденсатор $C_{24}$ компенсирует искажения амплитудно-частотной характеристики при малых уровнях громкости. Трансформаторы $Tp_1$ и $Tp_2$ аналогичны трансформаторам манипулятора инструмента «Романтика». Для них пойдут согласующий и выходной унифицированные трансформаторы от карманных радиоприемников.

Генератор вибрато — не обязательный узел описываемого инструмента, так как вибрацию звука можно получить, покачивая пальцы на грифе.

Однако для облегчения техники игры следует подключить автоматическое вибрато к схеме в точках *1*, *2* и *3*. Частоту вибрации нужно подбирать на слух резистором $R_{40}$. Уровень вибрато можно изменять резистором $R_{41}$. Включается вибрато тумблером $B_{10}$.



Питается инструмент от двух встроенных последовательно включенных батарей $Б_1$ и $Б_2$ КБС-Л-0,5 напряжением 3,7 или 4,5 *в*. При использовании батарей с тем или другим напряжением схему корректировать не требуется, при этом меняется лишь потребляемый ток. На схеме указаны токи, потребляемые от батарей с суммарным напряжением 9 *в*. Потребляемая мощность при этом составляет 150 *мвт*.

Правильно собранная схема не требует никакой наладки.

# Глава шестая

# КОНСТРУКЦИИ МНОГОГОЛОСНЫХ ЭМИ

## 23. «МЕРИДИАН»

«Меридиан» («Эстрадин-6) — один из электроорганов, серийно выпускаемых нашей промышленностью, представляет собой концертный двухклавиатурный инструмент. Так как в нашей стране наиболее широко используют фортепиано, а контингент органистов незначителен, в этом инструменте клавиши не разнесены на высоте, как в органах, а вытянуты в одну линию и названы соответственно клавишами левой и правой руки. Над клавиатурой инструмента помещен указатель разделения клавиши (см. рис. 10).

Клавиатура левой руки содержит 29 клавишей (от *до* до *ми* включительно). Четырьмя переключателями регистров на нем могут быть установлены регистры 16′, 8′, 4′ и 2′, кроме того, имеется возможность тремя дополнительными переключателями устанавливать желаемую частотную характеристику темброблока. Клавиатура правой руки предназначена для соло и поэтому обладает более богатым выбором регистров $\left(8', 4', 2\frac{2'}{3}, 2', 1\frac{3'}{5}, 1'\right)$ и тембров.

Принципиальная схема инструмента приведена на рис. 97. На ней изображен лишь один из двенадцати задающих $LC$-генераторов (транзисторы $T_4$ и $T_5$), описанных ранее.

К каждому из генераторов подключена цепочка делителей частоты, состоящая из шести одинаковых триггеров. Задающие генераторы настраивают на частоты, относящиеся к четвертой октаве (2 093,3—3 951 *гц*), и поэтому на выходах последних триггеров в цепочках получаются напряжения звуковых частот контроктавы. Таким образом, диапазон основных тонов инструмента составляет семь октав от звука *до* контроктавы до *си* четвертой октавы.

Генератор вибрато (транзисторы $T_1$, $T_2$) модулирует напряжение всех 12 задающих генераторов, причем точка соединения резистора $R_{12}$ и конденсатора $C_7$ для них общая. Эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе $T_3$, служит буферным каскадом; цепочка $R_{12}$—$C_7$ образует фильтр, улучшающий форму модулирующего напряжения, а резистор $R_{13}$ совместно с конденсатором $C_7$ развязывает входы задающих генераторов по звуковой частоте. Для развязки по постоянному току, предотвращающей изменение режима задающих генераторов при перестройке одного из них, служит конденсатор $C_8$.

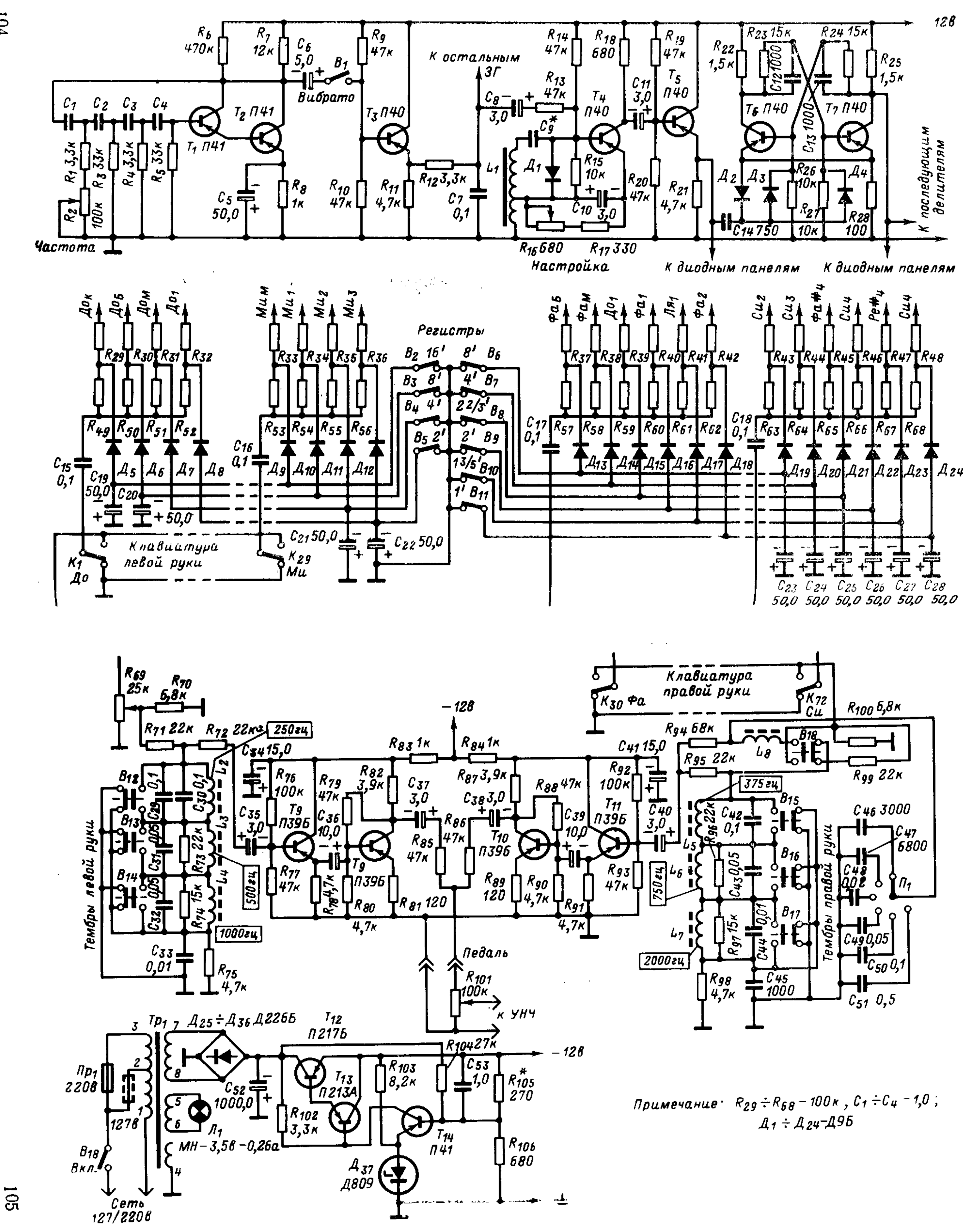



Рис. 97. Принципиальная схема ЭМИ «Меридиан».

В инструменте применены диодные переключатели регистров. На схеме изображены лишь первый и последний переключатели регистров для каждой из клавиши. Контакты клавиатуры переключают напряжение звукового сигнала, поступающее с соответствующих диодных переключателей на сборные шины. Когда клавиши отпущены, сигнал отводится на общий провод во избежание наводок на сборные шины. В клавиатуре левой руки уровень звука можно плавно регулировать резистором $R_{69}$. Формантные цепи обеих клавиатур построены по одному принципу. Разберем их работу на примере темброблока клавиатуры левой руки.

Когда все тембровые переключатели ($B_{12}$—$B_{14}$) выключены, то формантные контуры замкнуты накоротко и на пути звукового сигнала оказывается делитель напряжения $R_{71}$ (последовательное плечо) и $R_{75}$ и $C_{33}$ (параллельное плечо), при этом $R_{71}$ и $C_{33}$ составляют интегрирующую цепочку, смягчающую тембр звука, а сопротивление резистора $R_{75}$ подобрано так, что уровни выходного сигнала при включенных и выключенных формантах примерно одинаковы. При включении одного из переключателей, например $B_{12}$, цепочка $C_{33}R_{75}$ подключается к общему проводу, а функцию параллельного плеча делителя выполняет формантный контур $L_2C_{29}C_{30}$.

При включении двух или трех переключателей частотная характеристика делителя напряжения приобретает формантные подъемы на частотах настройки включенных контуров. В некоторые контуры включены резисторы, сглаживающие неестественно острые пики частотной характеристики. Обрамленный формантными призвуками звуковой сигнал поступает на предварительный усилитель (транзисторы $T_8$ и $T_9$), входное сопротивление которого достаточно для того, чтобы не шунтировать резонансные цепи, и далее вместе с выходным напряжением другой клавиатуры подается на педальный регулятор громкости ($R_{101}$).

В клавиатуре правой руки кроме трех параллельных контуров работает фильтр низких частот $L_8$, $C_{46}$—$C_{51}$. Настройка этого фильтра не постоянная: переключателем $П_1$, управляемым коленным рычагом, исполнитель может быстро выбрать необходимый тембр, подключая один из конденсаторов $C_{46}$—$C_{51}$.

Коллекторные цепи транзисторов питаются от стабилизированного источника, содержащего трансформатор питания, выпрямитель и электронный стабилизатор напряжения. Нужное напряжение при подключенной нагрузке (—12 *в*) устанавливают резистором $R_{105}$.

О включении инструмента в сеть сигнализирует миниатюрная лампа $Л_1$ на напряжение 3,5 *в*.

Частоты настройки формантных контуров указаны на схеме. Для их получения необходимо, чтобы дроссели $L_1$, $L_3$, $L_5$ и $L_8$ имели индуктивность 2 *гн*, а дроссели $L_4$, $L_6$ и $L_7$ — 0,6 *гн*. Выполнены они на броневых сердечниках ОБ-20 из оксифера 2 000 МН с воздушным зазором 0,2 *мм* и имеют соответственно 3 000 и 1 400 витков провода ПЭВ 0,06.

Трансформатор питания имеет сердечник из пластин Ш19 трансформаторной стали Э-44, толщина набора 30 *мм*. Сетевая обмотка *1—2—3* содержит 980+720 витков провода ПЭВ-1 0,25, понижающая *7—8*—150 витков провода ПЭВ-1 0,64; обмотка индикаторной лампы *5—6*—28 витков провода ПЭВ-1 0,33. Между сетевой и остальными обмотками намотан один слой экранирующей обмотки проводом ПЭВ-1 0,1.



## 24. «ГАММА»

Этот многоголосный инструмент наиболее доступен для повторения, так как налаживание его несложно и количество необходимых элементов сравнительно невелико. Вместе с тем его музыкальные возможности достаточно широки: диапазон клавиатуры «Гамма» равен 3,5 октавы (41 клавиша от ноты *до* до *ми*), диапазон основных тонов ее охватывает 5,5 октавы от *до* большой октавы до *ми* четвертой октавы. Этот диапазон в соответствии с клавиатурой разбит на три регистра: 8′, 4′ и 2′, каждый из которых содержит несколько формантных тембров.

На схеме инструмента (рис. 98) условно не показаны генератор вибрато и делители частоты. Генератор вибрато собран по схеме, изображенной на рис. 72, а для делителей частоты использованы триггеры, достаточно подробно описанные ранее. Генераторная основа инструмента содержит 12 генераторов тонов, каждый из которых состоит из задающего *RC*-генератора (транзистор $T_1$), преобразователя формы кривой (транзисторы $T_2$ и $T_3$) и цепочки триггерных делителей частоты. К задающим генераторам, работающим в четвертой октаве (*до — ми*), подключено по пять делителей, к остальным семи задающим генераторам, настроенным на частоты третьей октавы (*фа — си*), для получения полного звукового диапазона достаточно подключить цепочки из четырех триггеров.

Таким образом, общее число триггерных ячеек составляет $(5\times5)+(4\times7)=53$.

Задающий генератор настраивают на необходимую частоту переменным резистором $R_9$, однако получаемый при этом диапазон перестройки едва достигает 1—1,5 тонов, поэтому предварительно необходимо грубо настроить каждый генератор резистором $R_8$. Для получения более низких частот сопротивление этого резистора должно быть увеличено, но чрезмерное увеличение его приводит к снижению амплитуды генерируемых колебаний; в этом случае целесообразно несколько увеличить сопротивление резистора $R_6$, что в свою очередь вызовет понижение частоты. Напряжение инфразвуковой частоты от генератора вибрато подается через цепочку $C_1R_1$ на базу транзистора генератора. Благодаря фильтрующему действию конденсатора $C_2$ девиация частоты приобретает ровный, приятный для слуха характер.

Данный задающий генератор при всех своих достоинствах довольно маломощен и поэтому его выходное напряжение, имеющее почти синусоидальную форму, подается через резистор $R_7$ на буферный каскад, собранный на транзисторе $T_2$. Следующий за буферным каскадом усилитель-ограничитель (транзистор $T_3$) преобразует синусоидальное напряжение в прямоугольное, близкое по форме к выходному напряжению триггера. К выходу этого каскада подключена цепочка делителей частоты и клавиатура, состоящая из контактов и резисторов. Каждая из клавишей инструмента связана с тремя проволочными контактами, нормально замкнутыми на общую шину, которая заземлена по переменному току и шунтирует звуковые сигналы всех частот на общий провод. При нажатии одной из клавиш, предположим, соответствующей нижнему *до* ($K_1$), на сборных шинах регистров появляются соответствующие звуковые напряжения. На сборную шину регистра 8′, например, через резисторы $R_{18}$ и $R_{30}$ поступает звуковое напряжение с последнего делителя частоты *до* (соответствующее *до* большей октавы). На

Примечание: $R_{18} \div R_{41}$ — 100к

Рис. 98. Принципиальная схема ЭМИ «Гамма».

другие сборные шины одновременно подаются напряжения с делителей, малой (4′) и первой (2′) октав.

Общая шина, на которую замкнуты контакты ненажатых клавишей, благодаря делителю напряжения $R_{42}$ и $R_{43}$ имеет потенциал примерно —5 *в*. При замыкании и размыкании контактов постоянное напряжение в узловых точках, к которым подключены контакты, не изменяется, так как все генераторы гальванически связаны с клавиатурой. Поэтому при точном подборе напряжения смещения резистором $R_{42}$ «щелчки» полностью отсутствуют. Напряжения со сборных шин клавиатуры поступают на эмиттерные повторители ($T_7$—$T_9$) — по одному для каждого регистра, после чего преобразуются в темброблоке.

С эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе $T_7$, прямоугольное напряжение подводится непосредственно к переключателю $B_1$, который подключает его к фильтру нижних частот $L_4$, $C_{23}$, $R_{68}$, $C_{24}$. Сформированный этим фильтром тембр отличается большой мягкостью и напоминает бас-флейту. Переключателем $B_3$ от того же исходного напряжения включается тембр кларнета.

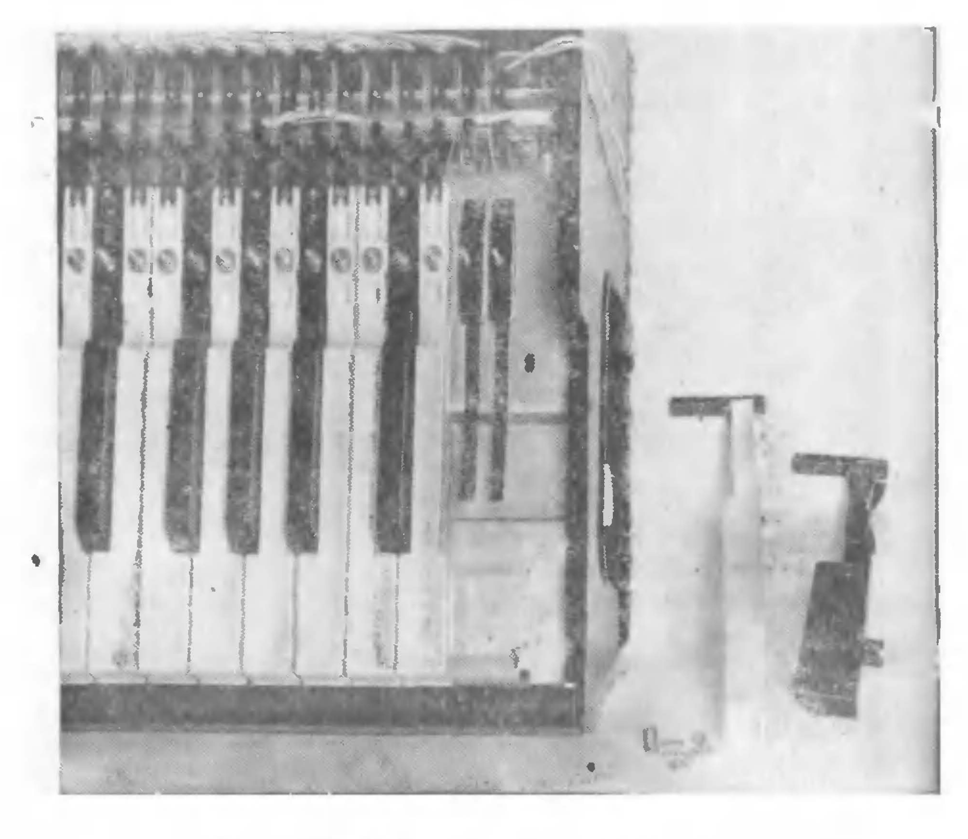


Рис. 99. Клавиатура и детали.

Группа переключателей $B_2$, $B_4$ и $B_5$ подключена к выходам эмиттерных повторителей через резисторы $R_{44}$—$R_{46}$. В узловой точке соединения этих резисторов напряжение имеет ступенчатую форму, близкую к пилообразной и поэтому содержащую в своем спектре значительные по энергии 2, 4, 6 и другие четные гармоники. Это позволяет сформировать тембры фагота формантным контуром $L_3C_{22}$ и гобоя — $L_2C_{19}$. Переключателем $B_5$ может быть включен тембр струнного типа, получающийся благодаря ослаблению обертонов в области «гнусавости» (1 500 *гц*) последовательным резонансным контуром $L_1C_{18}$.

В регистре 4′ прямоугольное напряжение используется лишь для создания тембра, напоминающего флейту (переключатель $B_6$). Остальные два тембра формируются из ступенчатого напряжения в точке соединения резисторов $R_{47}$, $R_{48}$. Для получения тембра английского рожка используется форманта гобоя, причем конденсатор $C_{20}$ позволяет получить тембр несколько более резким.

В регистре 2′ всего два тембра, причем тембр, включаемый переключателем $B_9$, более мягкий. Второй тембр благодаря дифференцирующей цепочке $C_{16}R_{55}$ имеет сильно развитый комплекс высших обертонов и поэтому иногда кажется звучащим выше на октаву, чем первый.

При совместном включении нескольких переключателей получается характерное органное звучание. На выходе темброблока сигнал ослабляется до милливольта и поэтому требуется достаточно большое усиление его, для чего служит предварительный усилитель, выполненный на транзисторах $T_{10}$ и $T_{11}$. Педаль подключена к выходу усилителя. Для расширения возможностей управления громкостью предусмотрен ручной установочный регулятор $R_{75}$.

Питается инструмент от стабилизированного блока питания. Электронный стабилизатор, рассчитанный на ток нагрузки 400—500 *ма*, выполнен на транзисторах $T_4$—$T_6$. Не следует забывать о том, что мощные транзисторы $T_5$ и $T_6$ должны быть закреплены на радиаторе общей площадью охлаждающейся поверхности не менее 200 *см*².

Выпрямитель выполнен на восьми германиевых диодах, в каждом плече места включены два диода параллельно. Трансформатор питания собран на сердечнике УШ19×29. Обмотка *1—2—3* имеет 980+720 витков провода ПЭВ-2 0,2; обмотка *5—6* содержит 156 витков провода ПЭВ-2 0,64, экранирующая — один слой провода ПЭВ-1 0,1. Неоновая лампа ИН-3 сигнализирует о включении инструмента в сеть.

На рис. 99 показано устройство клавиатуры инструмента и некоторые ее детали.

## 25. «ЮНОСТЬ»

Один из наиболее широко распространенных в нашей стране многоголосный ЭМИ «Юность» выпускается с 1965 г. От других инструментов его отличает яркий звенящий тембр, хорошо сочетающийся с электрогитарами, поэтому «Юность» часто можно услышать в составе джазовых электроансамблей, где этот инструмент в основном дополняет аккомпанемент. «Юность» часто применяют также в оркестре В. Мещерина.

«Юность» выполнена на транзисторах с применением печатного монтажа и, несмотря на некоторые недостатки, весьма надежна в работе.

Диапазон основных тонов этого инструмента охватывает шесть октав от *до большой* октавы до *си* четвертой. Клавиатура «Юности» достаточно обширна — 5 полных октав (60 клавишей). Метод образования тембра, примененный в «Юности», — регистровый синтез из четырех исходных октавных тонов, образующихся из симметричных колебаний прямоугольной формы. Объем регистров инструмента—16′, 8′, 4′ и 2′, причем в регистре 16′ дважды повторяется

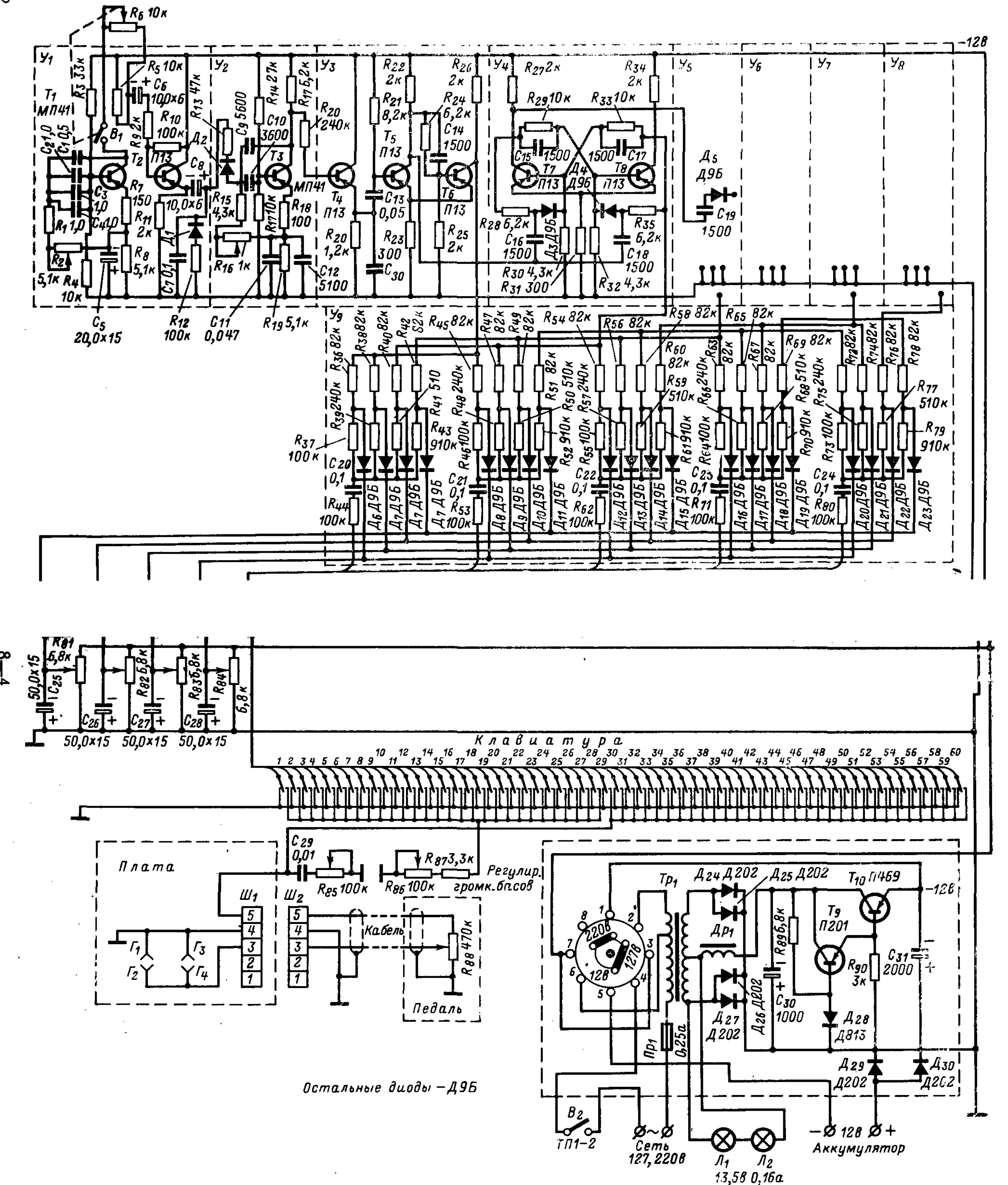



Рис. 100. Принципиальная схема ЭМИ «Юность».

8—4

наиболее низкая, большая октава; в регистре 2′ аналогично повторяются звуки наивысшей, четвертой октавы. Тембр регулируют с помощью четырех переменных резисторов, которые плавно изменяют громкость звучания каждого регистра. Кроме этого, предусмотрен регулятор тембра, который может ослабить энергию высших обертонов и тем самым несколько смягчить звук. Номинальный выходной сигнал инструмента — 0,2 *в*, т. е. вполне достаточен для работы внешнего усилителя низкой частоты на входе «звукосниматель». Питание инструмента комбинированное — от сети 127/220 *в* (потребляемая мощность 20 *вт*) или от аккумуляторов 12 *в* (потребляемая мощность 10 *вт*).

Принципиальная схема инструмента изображена на рис. 100. Тонгенератор «Юности» состоит из задающего генератора ($У_2$), преобразователя-исказителя ($У_3$) и пяти делителей частоты ($У_4$—$У_8$).

Каждый из 12 тонгенераторов конструктивно оформлен в отдельный блок, в котором на общую печатную плату установлены отдельные панели с монтажом перечисленных функциональных узлов.

Задающий *RC*-генератор собран на транзисторе $T_3$. Частоту в нем грубо настраивают изменением емкости конденсатора $C_9$, а точно переменным резистором $R_{16}$. Через резистор $R_{13}$ входы всех 12 задающих генераторов соединены между собой и к этой общей точке подводится напряжение от генератора вибрато ($У_1$), собранного на транзисторе $T_1$ по схеме *RC*-генератора синусоидальных колебаний и аналогичного схеме задающего генератора. Для исключения влияния задающих генераторов друг на друга по постоянному току последовательно с резистором $R_{13}$ включен диод $Д_2$.

Исказитель представляет собой триггер Шмитта (транзисторы $T_5$ и $T_6$), который отделен от задающего генератора эмиттерным повторителем на транзисторе $T_4$, так как этот тип генератора очень чувствителен к нагрузке. Напряжение прямоугольной формы, частота которого находится в пределах четвертой октавы, снимается с коллектора транзистора $T_6$ и используется как для запуска цепочки делителей частоты, так и для регистрового синтеза. Делители частоты построены на симметричных триггерах с автоматическим смещением ($R_{31}$) и незначительно отличаются от известных схем. Все 60 делителей частоты одинаковы по схеме и имеют одинаковые данные деталей.

Генератор вибрато, так же как и задающий генератор, имеет плохую нагрузочную характеристику, поэтому он отделен от остальной схемы эмиттерными повторителями ($T_2$). Потенциометром $R_2$ в некоторых пределах может быть изменена частота вибрато, а переменный резистор $R_6$ регулирует амплитуду выходных колебаний инфразвуковой частоты. Этот потенциометр связан с выключателем вибрато $B_1$. В некоторых образцах «Юности» регулятор частоты вибрато не выведен наружу, а выполняет функции подстроечного элемента. Иногда встречаются инструменты с рукояткой регулятора частоты вибрато, выведенной на дно корпуса.

Для регистрового синтеза в «Юности» применен диодный переключатель регистров, аналогичный переключателю «Эстрадина-6», но имеющий всего четыре регистровых канала. Резисторы $R_{38}$—$R_{78}$, составляющие делитель напряжения с диодами $Д_6$—$Д_{23}$, имеют одинаковые сопротивления — по 82 *ком*. Сопротивления резисторов $R_{37}$—$R_{79}$ для разных регистровых каналов сильно отличаются между собой. Этим различием «Юность» и обязана специфичности своего



тембра. Дело в том, что при всех прочих равных условиях (имеется в виду равномерность введения ручек регуляторов тембра), уровень переменного напряжения, развиваемого на регистре 2′, на 15—20 *дб* превосходит уровень напряжения на регистре 16′. Соседние регистры по уровню отличаются примерно на 6 *дб*, причем всегда преобладает более высокий регистр. Этим искусственно нарушается слитность тембра, что приводит к оригинальному эффекту. Однако такие градации уровней приемлемы не на всем диапазоне инструмента; нижние октавы «Юности» звучат слишком скрипуче. Форманты в инструменте отсутствуют, и это, к сожалению, обедняет электроорган.

Регистры вводят потенциометрами $R_{81}$—$R_{84}$, которые изменяют степень проводимости диодов. Конденсаторы $C_{25}$—$C_{28}$ фильтруют звукошумовую помеху. Клавиатура «Юности» содержит по одному контакту на каждую клавишу, который во избежание загрязнения

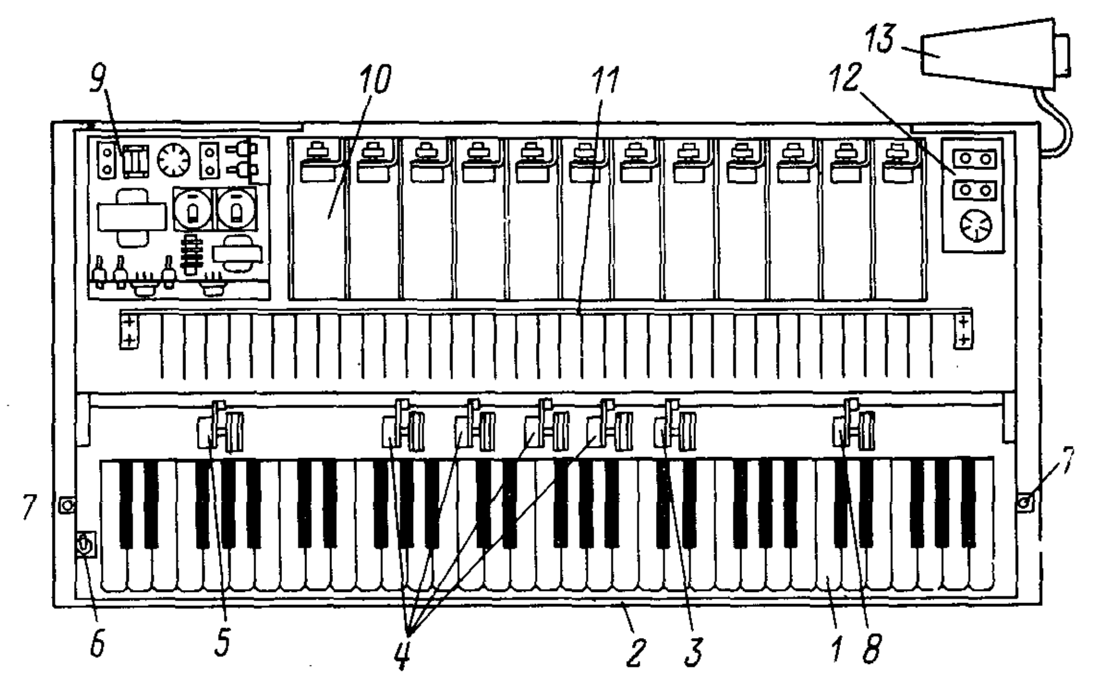



Рис. 101. Расположение блоков и регуляторов управления инструментом.

*1* — клавиатура; *2* — корпус; *3* — регулятор громкости левой части клавиатуры; *4* — регуляторы уровня регистров; *5* — регулятор вибрато; *6* — выключатель сети; *7* — лампы подсвета; *8* — тонкоррекция; *9* — блок питания; *10* — тонгенераторы; *11* — диодный переключатель; *12* — панель выхода; *13* — педаль.

паузы нормально замкнут на «земляную» шину. Сборная шина клавиатуры может иметь разрыв между 30 и 31 клавишами. Потенциометр $R_{86}$ позволяет регулировать уровень басов, его устанавливает исполнитель в положение, при котором соотношение между мелодией и аккомпанементом становится наиболее равновесным. Регулятор тонкоррекции $R_{85}$ изменяет степень шунтирования высших частот конденсатором $C_{29}$. Посредством разъема $Ш_1$—$Ш_2$ и кабеля инструмент соединяют с педалью ($R_{88}$). Усилитель подключают к выходным гнездам $Г_1$—$Г_2$ (или $Г_3$, $Г_4$).

Блок питания содержит трансформатор $Тр_1$, двухтактный выпрямитель на диодах Д202 и электронный стабилизатор напряжения (на транзисторах $T_9$ и $T_{10}$). Дросселем $Др_1$ достигается допол-

нительная фильтрация выпрямленного напряжения. Колодка переключения напряжения сети позволяет не только выбрать напряжение 127 или 220 *в*, но и переключать инструмент на питание от аккумуляторов. Диоды $Д_{29}$—$Д_{30}$ позволяют избежать возможных повреждений транзисторов при случайном несоблюдении полярности подключения аккумуляторов. При питании инструмента от аккумуляторов индикация включения ($Л_1$—$Л_2$) отсутствует для экономии электроэнергии.

На рис. 101 показан общий вид инструмента со снятой крышкой. Он оформлен в металлическом корпусе из легких сплавов, наружная поверхность корпуса окрашена молотковой эмалью.

Крышка прикреплена снизу четырьмя винтами с невыпадающими головками. На задней стенке инструмента имеется декоративная планка, которая при снятии открывает доступ к ручкам настройки задающих генераторов. В нижней части корпуса расположены панель выхода шнура питания инструмента от сети переменного тока, колодка переключения напряжения сети, предохранитель и гнезда для подключения аккумуляторов. Справа расположены выходные гнезда и разъем для подключения педали.

В непосредственной близости от клавиатуры расположен блок регистрового синтеза (диодные переключатели) и ручки управления инструментом. Все рукоятки потенциометров имеют накатку и цифровые обозначения для ориентировки — насколько введен или выведен каждый потенциометр.

Наиболее трудноустранимая неисправность в «Юности» — выход из строя делителя частоты, однако она может возникнуть, как правило, из-за механического повреждения монтажа вследствие тряски, ударов и пр. Шнур инструмента, предназначенный для подключения к усилителю, снабжен стандартными вилками, которые некоторые музыканты, разумеется по недосмотру, включают в розетку сети переменного тока. Поэтому, если инструмент не звучит, то в первую очередь нужно проверить исправность резистора в педальном узле и при необходимости заменить его на запасной.

## 26. «РЭТАККОРД»

«Рэтаккорд», выпускаемый заводом «Пунане-РЭТ», в настоящее время один из лучших отечественных электроорганов. Он пригоден как для использования в составе различных оркестров и инструментальных ансамблей, так и для игры в домашних условиях.

«Рэтаккорд» имеет две клавиатуры. Первая из них (верхняя) имеет диапазон в три октавы (36 клавишей от *фа* до *ми*). Нижняя клавиатура содержит пять октав (60 клавишей от *фа* до *ми*). Диапазон основных тонов инструмента составляет шесть октав (от $фа_к$ до $ми_4$). Регистрами инструмент достаточно богат — в нижней клавиатуре, предназначенной для аккомпанемента, содержатся два формантных тембра регистра 16′, действующих только на двух нижних октавах этой клавиатуры, и три формантных тембра 16′, действующих на остальной клавиатуре. Такое разделение нижней клавиатуры на две позволяет добиться более равномерного уровня громкости. Этому способствуют два регулятора громкости, каждый из которых обслуживает свою часть клавиатуры. Нажатием специальной клавиши исполнитель может объединить нижнюю клавиатуру в одно целое, и тогда все функции управления тембром передаются трем клавишам регистра 16′.



Верхняя клавиатура намного богаче тембрами и динамикой. Здесь три переключателя предназначены для включения тембров регистра 8′, четыре — включают формантные тембры регистра 4′. Громкость каждого из этих регистров можно плавно регулировать двумя ручками. Это сделано для того, чтбы музыкант мог плавно выбирать желаемые соотношения двух октавных тонов, включаемых клавишей одновременно. Верхняя клавиатура имеет еще регистр 2′ и в нем два формантных тембра, однако в этом регистре громкость не регулируется, а предусмотрен лишь общий выключатель данного регистра. Уровень громкости верхней клавиатуры регулируют педалью, которая по желанию играющего может быть подключена к нижней клавиатуре, а при нормальном положении переключателей на нижнюю клавиатуру воздействуют только ручные регуляторы громкости.

Для получения вибрато применена частотная модуляция звукового напряжения. Вибрато включают переключателем, глубина вибрации не регулируется. В «Рэтаккорде» вибрато имеет две фиксированные частоты 5 и 7 *гц*.

«Рэтаккорд» — первый из советских электроорганов, оборудованных устройством для получения тремоло. Тремоло в нем можно получить на нижней и верхней клавиатурах, разница состоит лишь в том, что на нижней клавиатуре имеется специальный переключатель, которым можно уменьшить глубину тремоло до такой степени, что последнее ощущается как амплитудное вибрато.

Благодаря применению в «Рэтаккорде» манипуляторов, звук его имеет мягкую атаку и постепенное затухание на обеих клавиатурах. Кроме того, звучание верхней клавиатуры может приобретать ударный характер наподобие клавесина или цимбал. В органе предусмотрена возможность удлинить затухание ударных звуков переключением выдержки удара.

Принципиальная схема инструмента, генераторная основа которого построена по принципу «задающие генераторы — делители частоты», приведена на рис. 102. Электроорган имеет 12 одинаковых генераторных блоков (на схеме показан один из них, обведенный штриховой линией), в который входят кроме задающих генераторов и делителей частоты транзисторные манипуляторы, обслуживающие одноименные клавиши обеих клавиатур. Задающий генератор собран на транзисторах $T_1$ и $T_2$. Качественные показатели его достаточно высоки: уход частоты в пределах рабочих температур не превышает ±0,1 на каждые 10° С изменения температуры. Генератор настраивают сердечником катушки $L_1$. Через конденсатор $C_4$ синхронизируется первый делитель частоты. Напряжение вибрато поступает на вход генератора через резистор $R_5$ и развязывающий диод $Д_3$. Все пять делителей частоты представляют собой симметричные мультивибраторы, данные элементов которых сведены в табл. 13.

Выходы делителей частоты подключены к соответствующим манипуляторам на транзисторах, транзисторы $T_{14}$—$T_{18}$ обслуживают одноименные клавиши нижней клавиатуры (по одному в каждой октаве). На манипуляторы двух нижних октав ($T_{17}$ и $T_{18}$) поступают звуковые напряжения с четвертого и пятого делителей частоты, а остальные манипуляторы соединены не только со своим делителем частоты, но и с соседним, расположенным ниже на октаву (например, на базу транзистора $T_{18}$ подается напряжение и с третьего делителя частоты и с четвертого через цепочку $R_{279}C_{38}$). На

Генераторный блок А

Контакты нижней клавиатуры

Контакты верхней клавиатуры

Рис. 102. Принципиальная схема электрооргана «Рэтаккорд».

Блок предварительных усилителей

Педаль

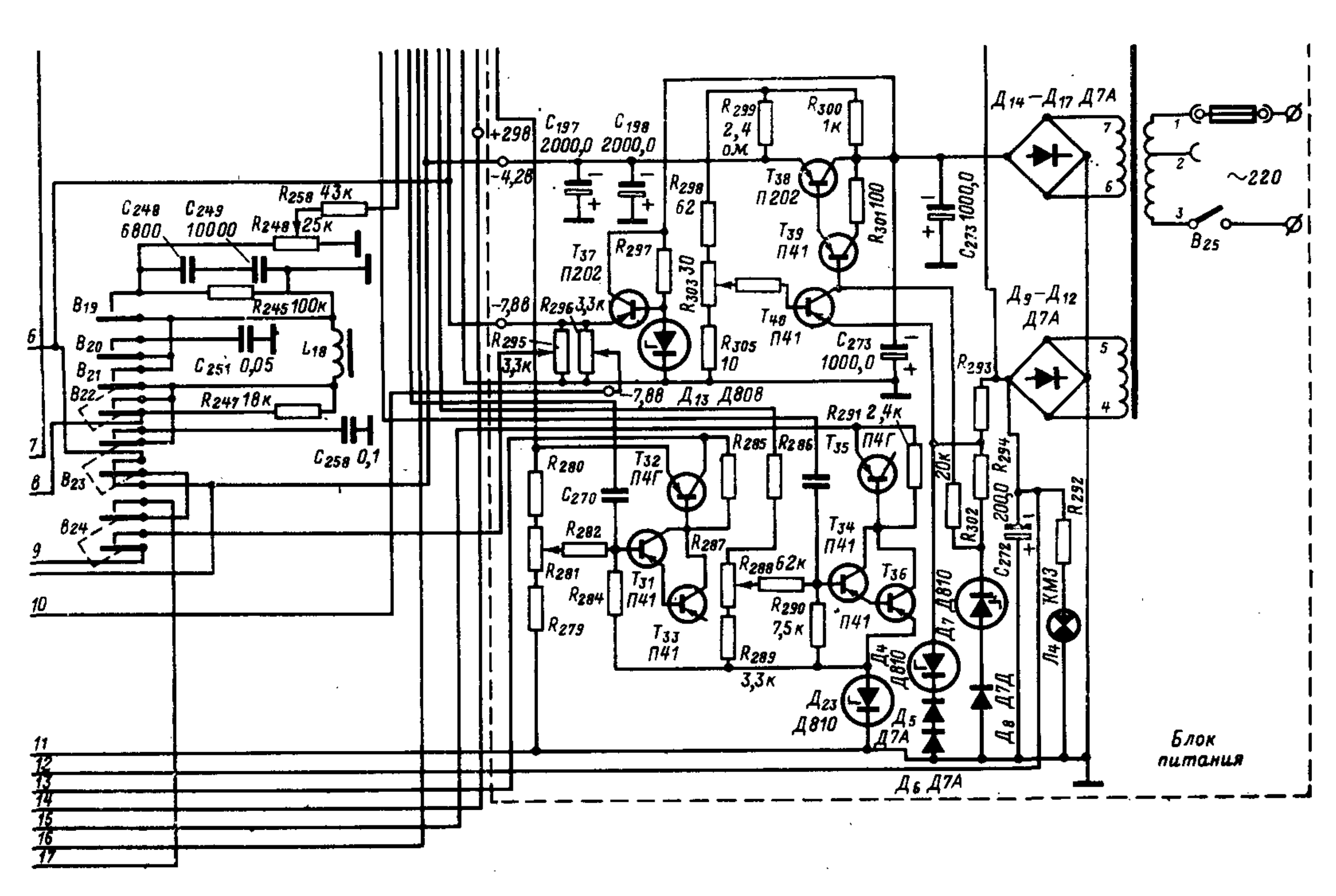



Рис. 102.

транзисторах $T_3$, $T_{20}$ и $T_{19}$ собраны манипуляторы регистра 2′ верхней клавиатуры. Остальные каскады работают в регистрах 4′ и 8′ в верхней клавиатуре.

Рассмотрим работу манипуляторов совместно с клавиатурой. Начнем с нижней клавиатуры (контакты $B_{137}$—$B_{135}$). Через цепочки $R_{31}$, $R_{36}$ и т. д. цепи баз транзисторов манипуляторов соединены

*Таблица 13*

| Обозначение по схеме | Сопротивления резисторов (*ком*) и емкости конденсаторов (*мкф*) в тонгенераторах | | |
|---|---|---|---|
| | *фа, фа-диез, соль, соль-диез* | *ля, ля-диез, си, до* | *до-диез, ре, ре-диез, ми* |
| $R_{10}$ | 27 | 22 | 18 |
| $R_{12}$ | 33 | 27 | 22 |
| $R_{14}$, $R_{16}$ | 27 | 22 | 39 |
| $R_{18}$, $R_{20}$ | 22 | 39 | 36 |
| $R_{22}$, $R_{24}$ | 22 | 33 | 27 |
| $R_{26}$, $R_{28}$ | 22 | 33 | 27 |
| $C_5$, $C_6$ | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| $C_8$, $C_9$ | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| $C_{11}$, $C_{12}$ | 0,25 | 0,1 | 0,1 |
| $C_{14}$, $C_{15}$ | 0,5 | 0,25 | 0,25 |
| $C_{17}$, $C_{18}$ | 1,0 | 0,5 | 0,5 |

с регулируемым источником напряжения —7,8 *в*. (Это напряжение снимается с движка переменного резистора $R_{296}$). Однако транзисторные каскады манипуляции нормально заперты напряжением около +29 *в*, снимаемым с движка резистора $R_{307}$. Это напряжение через нормально замкнутые контакты клавиатуры поступает в узловую точку делителей напряжения, включенных в цепи базы манипулятора (например, $R_{31}$—$R_{33}$ через резистор $R_{185}$). К этой же точке подсоединен конденсатор $C_{185}$, который при ненажатой клавише заряжен положительно и поддерживает манипулятор в запертом состоянии. При нажатии на клавишу этот конденсатор начинает перезаряжаться до некоторого отрицательного напряжения, постепенно отпирая транзистор. Временем перезаряда конденсаторов и определяется атака в нижней клавиатуре. При отпускании клавиш процесс перезаряда конденсаторов происходит в обратном порядке, но в этом случае на время затухания (запирания манипуляторов) наибольшее влияние оказывают сопротивления резисторов $R_{137}$—$R_{185}$.

В верхней клавиатуре при обычном способе игры атака и затухание получаются аналогично с помощью конденсаторов $C_{101}$, $C_{113}$, $C_{125}$ и резисторов $R_{101}$, $R_{113}$, $R_{125}$. Однако в контактной системе клавишей верхней клавиатуры предусмотрены дополнительные контакты, работающие на переключение, которые в исходном состоянии подсоединяют цепочки удара ($R_{201}C_{201}$, $R_{213}C_{213}$, $R_{225}C_{225}$) к источнику постоянного напряжения, отрицательного относительно «земли».

Переключатель выдержки удара $B_{23}$ подключает эти цепи либо к источнику —7,8 *в* (эмиттер транзистора $T_{37}$), либо к —4,2 *в* (эмиттер транзистора $T_{38}$). При этом в первом случае удар получается сильнее, так как манипуляторы отпираются в большей степени. Когда включен переключатель $B_{24}$ (регистр ударных инструментов), конденсаторы цепочек удара заряжаются до соответствующего напряжения. В момент нажатия клавиши цепочка удара вызывает быстрый перезаряд конденсаторов $C_{101}$, $C_{113}$, $C_{125}$ и т. д. По мере расхода энергии, запасенной на электролитических конденсаторах, происходит установление режима работы манипулятора.

Для того чтобы уменьшить уровень фона паузы, в клавиатуре установлены дополнительные нормально разомкнутые контакты $B_{101}$—$B_{185}$. Кроме того, эти контакты исключают помехи с частотой тремоло, проникающие на выход инструмента.

Генератор вибрато собран по схеме мультивибратора на высоковольтных транзисторах П25 ($T_{41}$ и $T_{42}$). Переменным резистором $R_{317}$ устанавливают частоту релаксации 5 *гц*. При замыкании этого резистора переключателем $B_3$ частота генератора возрастает до 8 *гц*. Включают вибрато выключателем $B_2$.

Переключатели $B_7$, $B_8$ и $B_{10}$—$B_{12}$ управляют тембрами нижней клавиатуры. Переключателем $B_9$ регистры 8′ и 16′ нижней клавиатуры могут быть объединены в один общий регистр, имеющий один общий темброблок. При разделении клавишей нижней клавиатуры каждая из них отдельно управляется по громкости резисторами $R_{237}$ и $R_{240}$. В темброблоке регистра 16′ при отключенных переключателях $B_8$ и $B_7$ работает фильтр нижних частот, состоящий из дросселя $L_{14}$ и конденсатора $C_{239}$. Когда включается $B_8$, из них образуется последовательный колебательный контур, затрудняющий прохождение средних частот. Переключателем $B_7$ подключается дополнительная цепочка, состоящая из катушки $L_{13}$ и конденсатора $C_{238}$.

Когда переключатели регистра 8′ ($B_{10}$—$B_{12}$) находятся в выключенном состоянии, работает фильтр нижних частот, составленный из нескольких звеньев ($R_{94}$, $C_{262}$, $R_{318}$, $L_{15}$ и $C_{242}$), а также последовательная ограничивающая цепочка $R_{249}$ и $C_{240}$. В этом положении добротность *LC*-фильтра невелика, так как последовательно с катушкой $L_{15}$ включено сопротивление 18 *ком*. При включении $B_{12}$ конденсатор $C_{262}$ отключается, а резистор $R_{318}$ замыкается накоротко и формантная цепь начинает эффективно воздействовать на результирующий тембр. При включении $B_{11}$ частота форманты изменяется. Когда включается $B_{10}$, пропускание высших частот улучшается, так как резистор $R_{253}$ превращает всю цепочку в дифференцирующую. Для компенсации ослабления громкости этим же переключателем замыкается и ограничивающая цепочка. Аналогично работают формантные цепи верхней клавиатуры, поэтому нет необходимости подробно их описывать. Отметим лишь, что здесь плавно регулируется выходное напряжение регистров 8′ и 4′ (резисторы $R_{252}$ и $R_{248}$).

Для каждой из клавиатур предусмотрен отдельный предварительный усилитель на транзисторах $T_{27}$ и $T_{28}$ (нижняя клавиатура) и $T_{29}$ и $T_{30}$ (верхняя клавиатура). Эти усилители одинаковы по схеме и охвачены глубокой отрицательной связью по постоянному току, что улучшает их качественные показатели. Через последовательно включенные фоторезисторы $R_{261}$ и $R_{271}C_{292}$ ТПИ и ограничивающие резисторы $R_{263}$ и $R_{273}$ выходы усилителей связаны между собой и подключены к выходному штепсельному разъему $Ш_1$. На сопротивления фоторезисторов $R_{261}$ и $R_{271}$ воздействуют лампы на-

калибания $Л_1$ и $Л_3$, интенсивность свечения которых изменяется с частотой тремоло. Для этого в инструменте предусмотрены усилители медленно изменяющихся сигналов на транзисторах $T_{31}$—$T_{33}$ (для верхней клавиатуры) и $T_{34}$—$T_{36}$ (для нижней клавиатуры). Эти усилители одинаковы по схеме. В ненажатом положении клавишей напряжение —30 *в* подается на коллектор регулирующего транзистора $T_{32}$ и лампа, включенная в цепь эмиттера этого транзистора, не горит. При нажатии любой клавиши контакты $B_{101}$—$B_{185}$ замыкают ограничивающие резисторы и лампы загораются. При включении тремоло (переключатель $B_5$) напряжение вибрато подается через конденсатор $C_{270}$ на базу управляющего транзистора $T_{31}$ и ток через лампы $Л_3$ начинает изменяться. Другая пара контактов $B_5$ подсоединяет резистор $R_{276}$ к «земле», в результате чего начинает действовать делитель напряжения $R_{276}$ и $R_{271}$. Глубина тремоло может быть изменена переключателем $B_6$.

Педальная регулировка громкости осуществляется резистором $R_{274}$, который, изменяя ток через лампу $Л_2$, тем самым изменяет интенсивность ее воздействия на фоторезистор $R_{264}$. При включении переключателя $B_1$ громкость регулируется одновременно на обеих клавиатурах.

Питается инструмент от сети 220 или 127 *в*. В блоке питания предусмотрены выпрямители и стабилизаторы для получения всех необходимых напряжений (—30; +29; —7,8; —4,2 *в*). Трансформатор питания $Тр_1$ собран на сердечнике из трансформаторной стали Э310 Ш24×32 и имеет следующие обмотки: для включения в сеть 950 витков провода ПЭВ 0,2 *мм*+1250 витков провода ПЭВ 0,27 *мм*, вторичные обмотки *4—5*—245 витков провода, ПЭВ 0,27 *мм*, *6—7*—125 витков провода ПЭВ 0,35 *мм*, *8—9*—370 витков провода ПЭВ 0,2 *мм*. Экраном служит полоска медной фольги толщиной 0,05 *мм*. Для индикации включения служит лампа $Л_4$.

Перед настройкой органа нужно выключить переключатель вибрато и тремоло. На задней стенке органа расположены 12 отверстий, через которые настраивают соответствующие тоны. Настраивать можно только неметаллической отверткой, прилагаемой в комплекте к органу. Поворот отвертки в направлении по часовой стрелке понижает высоту тона, и наоборот. Для настройки может быть выбрана любая октава. Лучшие результаты получаются, если при этом пользоваться более мягким тембром.

## 27. «КАМЕРТОН»

Этот многоголосный электромузыкальный инструмент совмещает в себе особенности электрооргана и электропианино. По качеству он превосходит все описанные здесь инструменты. Схема и конструкция его достаточно сложны для повторения, поэтому здесь описаны только отдельные наиболее интересные узлы «Камертона».

На рис. 103 приведен вариант оформления, предложенный Киевским филиалом Всесоюзного научно-исследовательского института технической эстетики. Как видно из рисунка, акустический блок совмещен с клавиатурой. Эта конструкция позволяет пользоваться «Камертоном» в домашних условиях. Этот инструмент будет одним из серии новых музыкальных инструментов, разрабатываемых авторами. В «Камертоне» применено пальцевое управление силой ударного звучания и демпфирование клавишами и педалью. Для получения эффектов предусмотрены унисон, частотное вибрато, тремоло,



регулирование атаки и затухания. Инструмент оборудован высококачественным встроенным усилителем низкой частоты большой мощности с шестью четырехваттными громкоговорителями. Тембры можно регулировать в очень широких пределах.

Клавиатура «Камертона» содержит 72 клавиши (6 октав). Диапазон основных тонов инструмента составляет 7 октав (от *до* контроктавы до *си* четвертой). Генераторная основа состоит из 12 одинаковых блоков, в каждый из которых входят задающий генератор, генератор унисона, девять триггерных делителей частоты и манипуляторы. Задающий *LC*-генератор работает в четвертой октаве и соединен с цепочкой из шести триггеров; генератор унисона по схеме не отличается от задающего, но настраивается на частоты



Рис. 103. Будущий образец ЭМИ «Камертон».

третьей октавы и запускает цепочку, состоящую из трех делителей частоты. Таким образом, основные тона третьей, второй, первой и малой октав продублированы унисонными тонами, которые при совместном звучании с основными создают тембры приятной густоты с характерной вибрацией. Кроме того, унисонные пары значительно повышают надежность инструмента вследствие резервирования основных генераторов. Все генераторы питаются от отдельного стабилизатора с выходным напряжением **—4 *в***.

Каждая клавиша инструмента оборудована индуктивным датчиком $L_1$ (рис. 104), усилителем постоянного тока на транзисторах

$T_1$ и $T_2$ и диодными манипуляторами $Д_1$ и $Д_2$. Входы диодных манипуляторов подключены к соответствующим генераторам, а выходы объединены сборными шинами регистров. Благодаря имеющимся источникам напряжения —6 *в* и +8 *в*, в исходном положении транзисторы $T_1$ и $T_2$ заперты, конденсаторы $C_1$ и $C_2$ почти разряжены, а через резистор $R_2$ и диод $Д_2$ протекает ток, смещающий диод и в прямом направлении. Поэтому сопротивление диода $Д_2$ очень мало. Напротив, диод $Д_1$ заперт благодаря тому, что

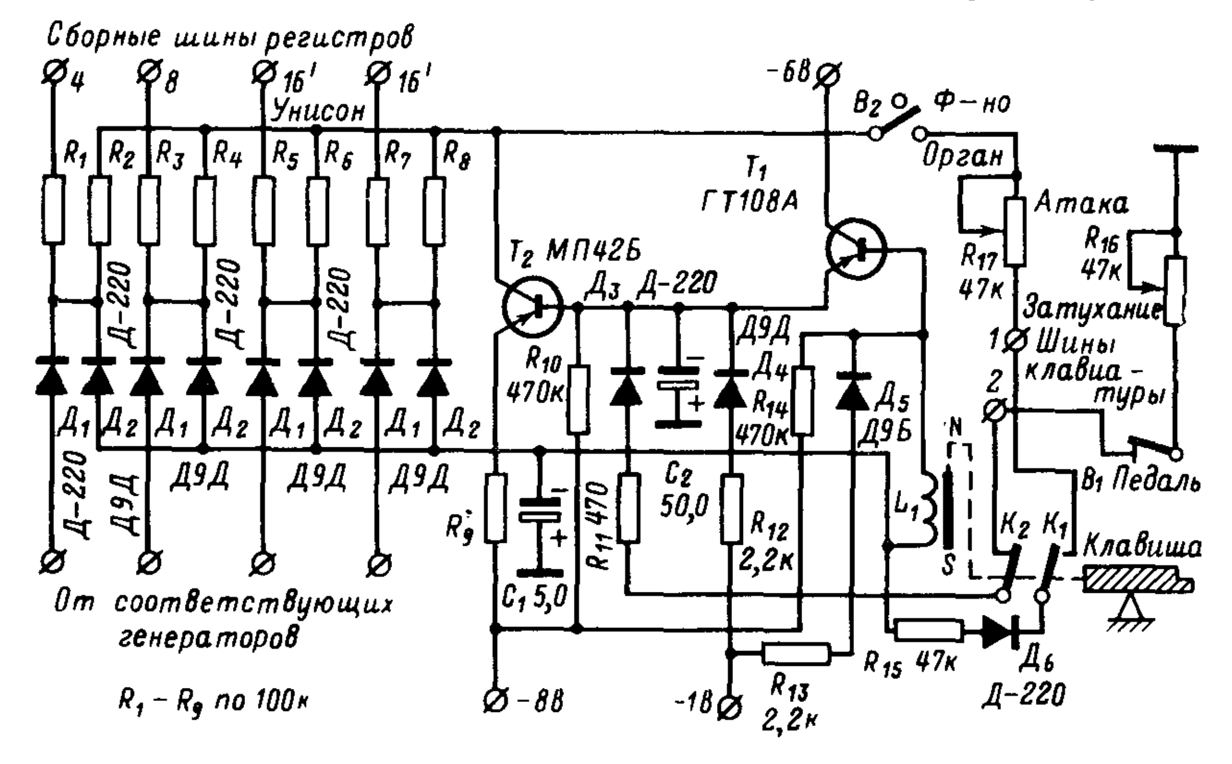



Рис. 104. Клавишное устройство «Камертона».

током через диод $Д_2$ на катоде диода $Д_1$ поддерживается напряжение —0,8 *в*, а анод его гальванически связан с делителем частоты, на коллекторе которого имеется постоянное отрицательное напряжение —1,8 *в*. Уровень фона паузы, развиваемый таким манипулятором, можно ориентировочно определить по формуле

$$D = 20 \lg \frac{R_{пр2}}{R_{обр1}},$$

где $R_{пр2}$ — прямое сопротивление диода $Д_2$; $R_{обр1}$ — обратное сопротивление диода $Д_1$.

Для того чтобы по возможности уменьшить величину $D$, нужно уменьшать $R_{пр2}$ и увеличивать $R_{обр1}$.

Исходя из этих сопротивлений, в качестве диода $Д_2$ выбран германиевый диод Д9Д, а $Д_1$ — кремниевый диод Д220 (или Д219А, Д220А, Д223 — эти диоды имеют еще лучшие параметры). Для указанных типов диодов $R_{пр2}=10$ *ом*, $R_{обр1}=50\cdot10^6$ *ом*, поэтому

$$D = 20 \lg \frac{10}{50\cdot10^6} = 106\ дб.$$

Кроме индуктивного датчика клавиша имеет еще два проволочных контакта, один из которых ($K_1$) замыкается на первую шину клавиатуры и служит для создания атаки при включении звука



(лишь при включении $B_2$ в положение «орган») и второй $K_2$, который в исходном состоянии замкнут на вторую шину клавиатуры и служит для «демпфирования», т. е. устранения послезвучания.

При нажатии на клавишу в режиме «фортепиано» в катушке $L_1$ возникает импульсная э. д. с., прямо пропорциональная скорости движения магнита или силе удара по клавише. Концы обмотки катушки подключены в схему таким образом, что при ударе транзисторы $T_1$ и $T_2$ быстро отпираются, потенциал на аноде диода $Д_2$

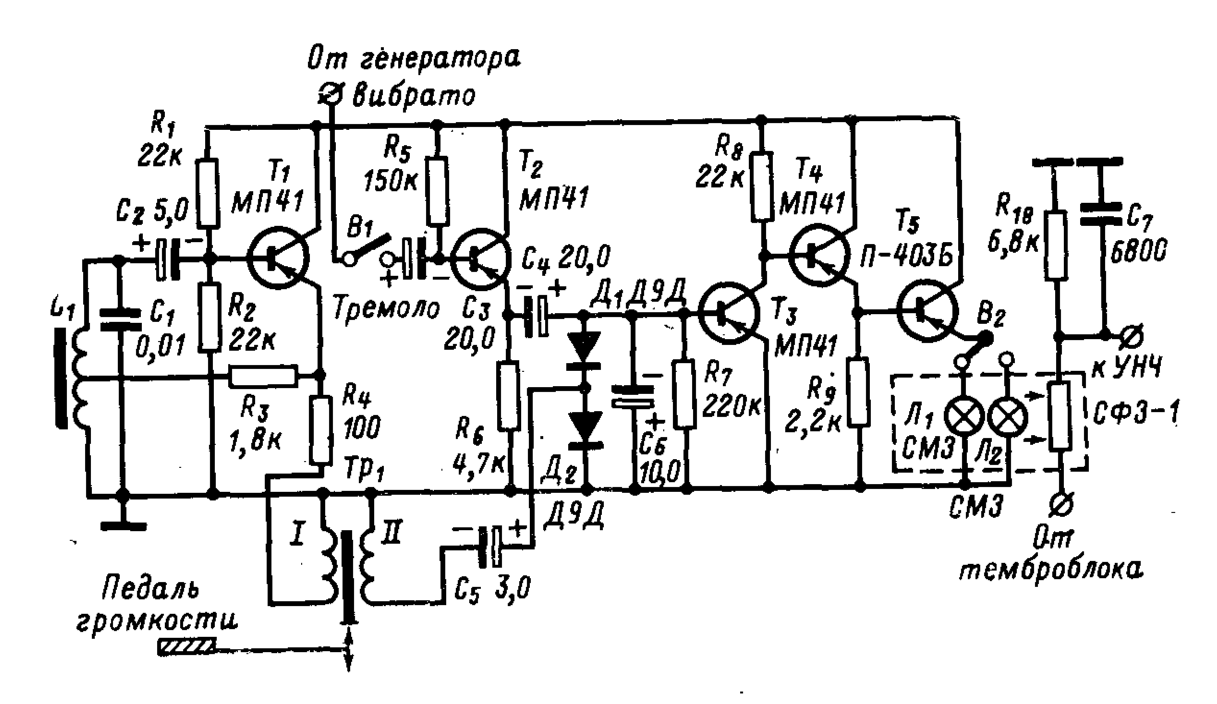



Рис. 105. Схема блока педали и тремоло.

устанавливается около —6 *в*, а на катоде диода $Д_1$ около —2,4 *в*, что превышает величину постоянного смещения (—1,8 *в*) на выходе триггера. Благодаря этому диод $Д_1$ отпирается, а $Д_2$ запирается и на сборных шинах регистров появляются соответствующие звуковые напряжения.

Характер амплитудной огибающей звука фортепиано показывает, что основная доля звуковой энергии (примерно 80%) расходуется в момент удара. В дальнейшем, несмотря на то, что затухание может быть очень длительным (15 *сек* и более), звучание очень ослаблено и происходит в основном за счет резонирующего устройства инструмента (деки). Для того чтобы воспроизвести подобную амплитудную огибающую, кроме конденсатора $C_2$, записывающего отрицательный заряд и поддерживающего транзистор $T_2$ в отпертом состоянии, введена цепочка $Д_4R_{12}$ и смещение —1 *в*. Благодаря этому разряд конденсатора до напряжения примерно —1,3 *в* происходит почти мгновенно через диод $Д_4$, резистор $R_{12}$ и источник смещения —1 *в*. После этого проводимость диода $Д_4$ резко снижается и дальнейший разряд конденсатора $C_2$ происходит медленно через переход база — эмиттер транзистора $T_2$ и резистор $R_9$. Такой «хвост» послезвучания тянется положенное время (10—15 *сек*). Такая длительность послезвучания нужна не на всем диапазоне клавиатуры инструмента. Измерения показали, что на пианино наиболее длительное послезвучание происходит на большой и малой октавах, на

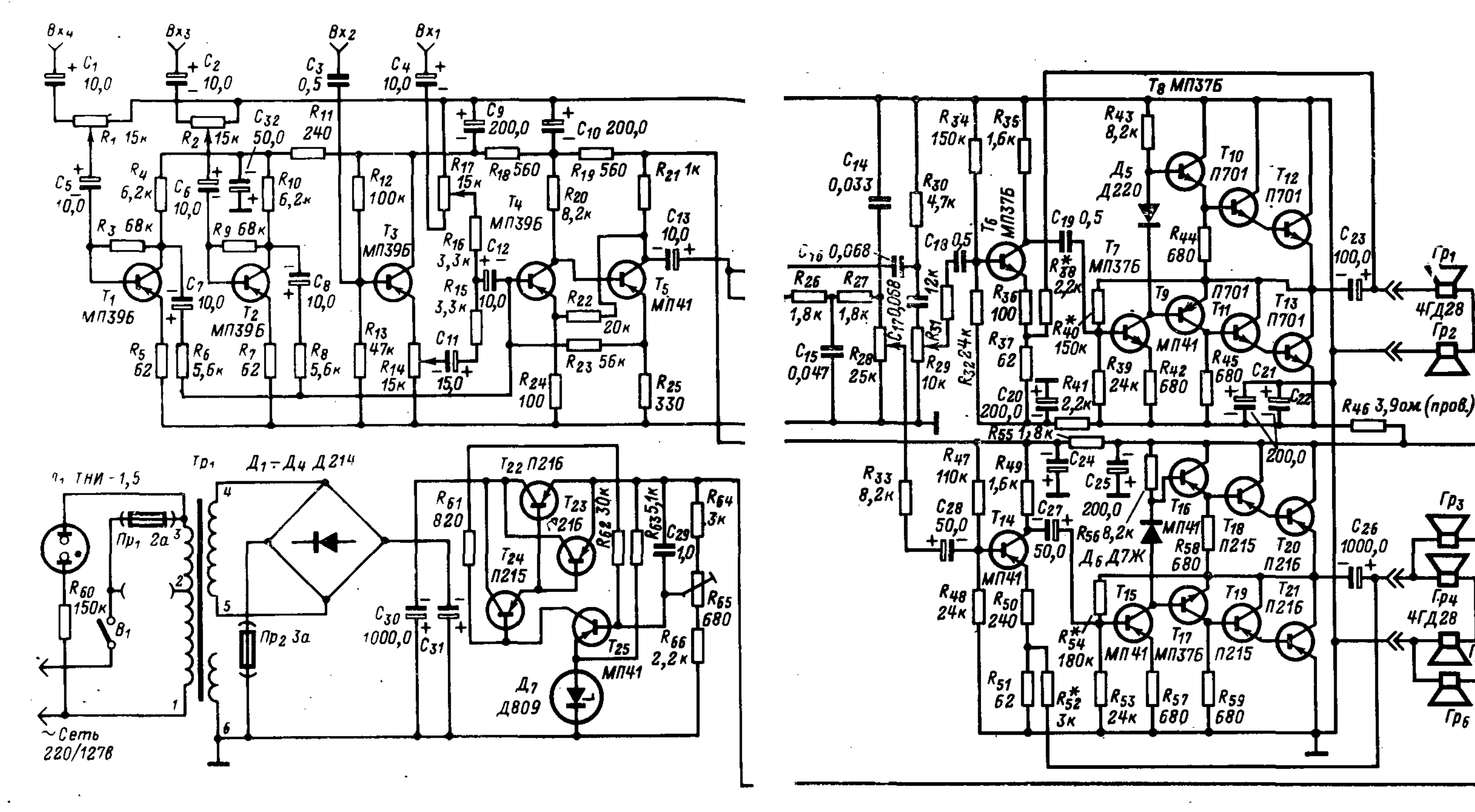



Рис. 106. Схема транзисторного двухканального усилителя.

контроктаве время затухания сокращается до 9—10 *сек*. В первой и более высоких октавах это время резко уменьшается, достигая в четвертой октаве 1,5—2 *сек*. Поэтому, чтобы избежать «духового» характера звуков на верхних октавах «Камертона», емкость конденсатора $C_2$ не постоянна по диапазону, так, например, в самой верхней октаве она уменьшается в 10 раз.

Если клавиша будет немедленно отпущена, то благодаря замыканию демпфирующего контакта $K_2$ произойдет быстрое затухание звука. Диод $Д_3$ в цепочке демпфирования необходим для предотвращения связи между манипуляторами соседних клавишей.

Цепочка $Д_5R_{13}$ служит автоматическим регулятором чувствительности клавиши. Дело в том, что диапазон усилий, развиваемых исполнителем на клавиатуре, колеблется от сотен граммов до десятков килограммов. Однако уже при усилии порядка 600 *г* транзисторы $T_1$ и $T_2$ оказываются в режиме насыщения и дальнейшее повышение силы удара не вызывает нарастания громкости. Если



же число витков катушки уменьшить, то слабые усилия не вызовут появления звука. Поэтому введена цепочка регулировки чувствительности, которая при э. д. с. на катушке более 1 *в* начинает шунтировать последнюю. Благодаря введению этой цепочки удалось добиться динамического диапазона на клавише до 30 *дб*. Это позволяет инструменту звучать довольно выразительно.

В режиме «орган», который включается переключателем $B_2$ даже при очень медленном нажатии на клавишу, звук возникает благодаря замыканию контакта $K_1$. В определенных пределах может изменяться и атака путем изменения сопротивления резистора $R_{17}$. Цепи удара в этом случае не отключаются, поэтому при необходимости характер начала звука может меняться в зависимости от динамичности нажатия клавиш. Но звук в этом режиме при нажатых клавишах самопроизвольно не затухает.

Педаль сопряжения аккордов при нажатии на нее размыкает контактную пару $B_1$, благодаря чему даже при отпускании клавиш

продолжается послезвучание. В некоторых пределах затухание может быть удлинено резистором $R_{16}$ даже при отпущенной педали. В режиме «орган» такое небольшое затухание создает очень ощутимый эффект «большого зала» или реверберации: по мнению многих слушателей такая «реверберация» намного естественнее и чище искусственно создаваемой при помощи пружинных линий задержки.

Темброблок «Камертона» содержит формантные контуры, фильтры низших частот и другие темброобразующие цепи. Усиленное напряжение с темброблока поступает в блок педали громкости и тремоло (рис. 105). Генератор звуковой частоты (примерно 2 000 *гц*) на транзисторе $T_1$ вырабатывает синусоидальное напряжение, поступающее на первичную обмотку трансформатора $Тр_1$. Этот трансформатор конструктивно выполнен в виде двух катушек с одинаковым числом витков ($w_1 : w_2 = 1:1$). В катушки вводится педальным механизмом сердечник из трансформаторной стали, который создает необходимые условия для появления на вторичной обмотке трансформатора достаточно большого напряжения звуковой частоты, поступающего на детектор (диоды $Д_1 — Д_2$, конденсатор $C_6$). На транзисторах $T_3—T_5$ собран усилитель постоянного тока, который в соответствии с изменением напряжения вспомогательной частоты на вторичной обмотке трансформатора $Тр_1$ изменяет ток через миниатюрную лампу СМ3 (9 *в*, 60 *ма*). Лампа помещена в светонепроницаемый экран вместе с фоторезистором СФЗ-1, разность сопротивлений у которого составляет более 60 *дб*.

Музыкальный сигнал, поступающий из темброблока на фоторезистор, выделяется на нижнем плече делителя напряжения ($R_{10}$, $C_7$), конденсатор $C_7$ улучшает амплитудно-частотную характеристику регулятора громкости.

Этот бесконтактный регулятор громкости исключительно надежен не только благодаря отсутствию трущихся и изнашивающихся деталей. Максимально возможный ток через лампу накаливания, устанавливаемый подбором резистора $R_8$, не превышает 60—70% номинального. Кроме того, предусмотрена резервная лампа $Л_2$, которая может быть подключена переключателем $B_2$, если лампа $Л_1$ неожиданно выйдет из строя. Переключатель $B_2$ установлен в непосредственной близости от педали.

В «Камертоне» установлен двухканальный усилитель низкой частоты на транзисторах. Мощность канала нижних частот составляет 18 *вт*, мощность канала высших частот — 7 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 1,5% для каждого канала. Разделение каналов позволяет значительно повысить качество звучания инструмента благодаря резкому снижению уровня интермодуляционных тонов. Схема аналогичного усилителя приведена на рис. 106, который представлен не как часть инструмента, а как совершенно самостоятельное устройство с микшером и собственным блоком питания.

Каналы низших и высших частот имеют технологически идентичные схемы, отличающиеся от обычных бестрансформаторных усилителей на транзисторах ступенным включением мощных транзисторов для повышения входного сопротивления выходных каскадов и получения от них максимальной мощности. Транзисторы $T_{20}$ и $T_{21}$ укреплены на радиаторах, транзисторы $T_{18}$ и $T_{19}$ могут быть установлены без радиаторов, однако для облегчения их теплового режима рекомендуется укрепить их на небольших алюминиевых пластинах толщиной 1,5—2 *мм*. Мощность 18 *вт* не предельная для канала НЧ, при



уменьшении сопротивления нагрузки (путем подключения большего числа громкоговорителей) до 1,25 *ом* отдаваемая мощность может возрасти до 37,5 *вт* при незначительном увеличении коэффициента гармоник. В канале ВЧ применены среднечастотные кремниевые транзисторы П701. Мощность этого канала аналогичным путем может быть тоже повышена, однако транзисторы $T_{12}$ и $T_{13}$ должны быть в этом случае заменены более мощными.

Выходные каскады обоих каналов охвачены отрицательной обратной связью по напряжению. Частота разделения каналов выбрана равной 1 000 *гц*. Тембр высших частот регулируется резистором $R_{29}$, тембр низших — резистором $R_{28}$.

Усилитель имеет четыре раздельных входа, каждый из которых имеет свой регулятор громкости. Вход *1* предназначен для подключения электромузыкального инструмента. Вход *2* имеет примерно ту же чувствительность, что и вход *1* (порядка 80 *мв*), но более высокое входное сопротивление (больше 100 *ком*). Входы *3* и *4* — микрофонные, чувствительность по этим входам составляет 3 *мв*.

Весь усилитель питается от стабилизированного источника напряжением 30 *в*. Трансформатор питания $Тр_1$ собран на сердечнике из трансформаторной стали Э330 Ш30×45 и имеет следующие обмотки: *1*, *2*, *3*—400+300 витков ПЭВ-2 0,62 *мм*; *4*—*5*—112 витков ПЭВ-2 1,5 *мм*; *6* — один слой ПЭВ-2 0,15 *мм*.

# Глава седьмая

# ЗАРУБЕЖНЫЕ ЭМИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫЕ В СССР

## 28. «ИОНИКА»

Электроорган «Ионика» (ГДР) — это один из первых электромузыкальных инструментов зарубежного производства, получивших у нас большое распространение на кино- и телестудиях, в театрах и оркестрах.

Клавиатура «Ионики» имеет 3,3 октавы, т. е. 41 клавишу от *фа* до *ми* включительно, а диапазон основных тонов инструмента охватывает промежутки между *фа* контроктавы и *ми* четвертой октавы, причем нижняя октава (от $фа_к$ до $ми_б$) — одноголосная, построенная по схеме обратного выбирания высоты тона.

Объем регистров органа 16′, 8′, 4′, $2\frac{2'}{3}$ и 2′. В каждом из регистров, кроме $2\frac{2'}{3}$, имеется по 4 формантных тембра; в регистре $2\frac{2'}{3}$ их всего два.

Комплектно с инструментом, выполненным в виде разборной конструкции, поставляются четыре круглые ножки для установки,

педаль регулировки громкости, регулятор глиссандо («глиссандор»), 12-ваттный усилитель MV-2 и акустический бокс с одним динамическим громкоговорителем (диаметр диффузора —35 *см*).

Вибрато — частотное с регулируемыми частотой и глубиной вибрации. Выключатель вибрато совмещен с регулятором уровня вибрации, выключатель сети — с регулятором частоты.

На переднюю панель инструмента (рис. 107) выведена ручка групповой подстройки, изменяющая строй на ± 0,5 тона. Глиссандор, управляемый коленным рычагом, может плавно понижать строй электрооргана примерно на большую терцию, однако этот интервал может быть несколько расширен или сужен потенциометром, ручка которого также выведена на переднюю панель.

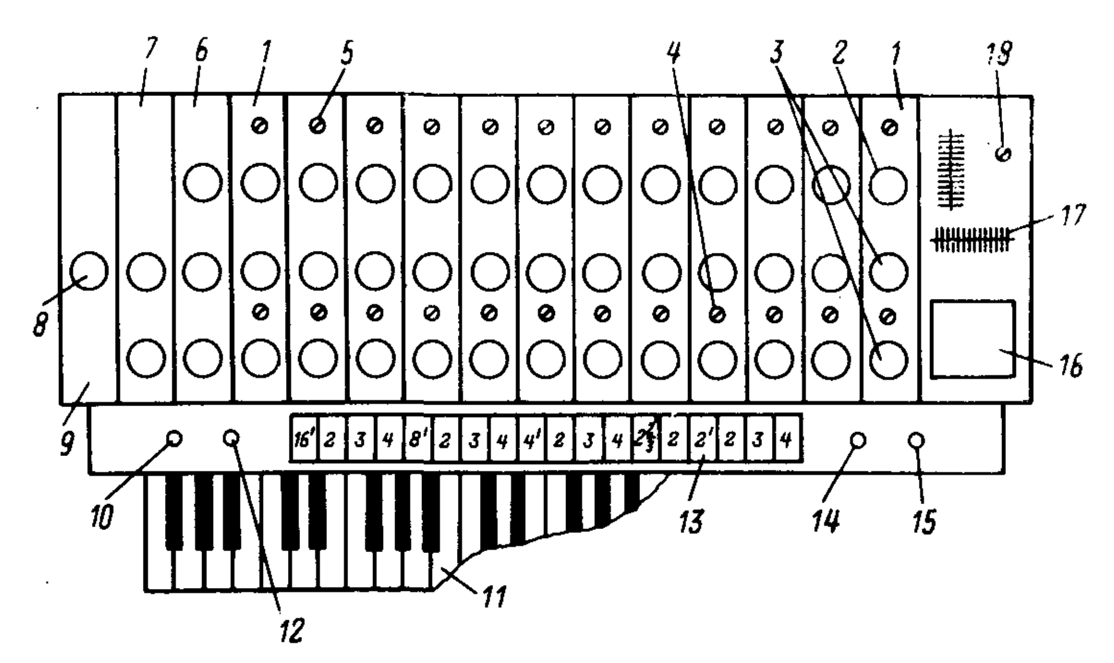



Рис. 107. Электроорган «Ионика».

*1* — тонгенератор; *2* — лампа ECF-82; *3* — лампы ECC-81; *4* — регулятор синхронизации; *5* — потенциометр грубой настройки; *6* — блок предварительных усилителей; *7* — генератор вибрато и триггер; *8* — лампа ECL-82; *9* — блок генератора высокой частоты; *10* — регулятор глубины вибрато; *11* — клавиатура; *12* — регулятор пределов действия глиссандо; *13* — регистрово-тембровые переключатели; *14* — групповая подстройка; *15* — регулятор частоты вибрато и выключатель сети; *16* — трансформатор питания; *17* — селеновые столбы выпрямителя; *18* — регулятор смещения — 2,6 *в*.

Настраивается электроорган двенадцатью потенциометрами, расположенными в тыльной части инструмента. Кроме того, на шасси установлены еще 12 переменных резисторов для «грубой» подстройки каждого из задающих генераторов. Выход инструмента приспособлен для подключения тройного штепселя со шнуром, ведущим к педали.

Питается «Ионика» от сети 125/220 *в*, мощность потребления составляет около 140 *вт* (весь электроорган собран на лампах).

Всего в инструменте 42 электронные лампы, 220 неоновых ламп и два селеновых столба, в усилителе пять электронных ламп.

Корпус «Ионики» и шасси усилителя выполнены из металла, окрашенного нитроэмалью, и обрамлены анодированными алюминиевыми обшивками. Акустический агрегат обтянут дерматином и украшен декоративной металлической решеткой.



«Ионика» построена по типичной схеме, задающие генераторы — делители частоты. В составе генераторной основы инструмента 12 тонгенераторов, состоящих из задающего генератора и четырех делителей частоты в каждом, поэтому от одного тонгенератора получается 5 октавных тонов. Для получения тонов нижней одноголосной октавы применен триггерный делитель частоты с системой выборной подачи на его вход звуковых частот от тонгенераторов. Все задающие генераторы соединены с вибрато-генератором.

Звуковые напряжения всех тонов поступают на схему клавиатуры, где сделана распайка по регистрам так, что каждой клавишей одновременно включаются пять тонов (по одному на каждый из регистров). Выходы регистров подведены к блоку предварительных усилителей, после чего они поступают на переключатель регистров и темброблок. Для приведения в действие системы клавиатуры и переключателей регистров, составленных из газоразрядных приборов (неоновых ламп), применен высоковольтный ионизатор — генератор высокой частоты.

Блок питания дает напряжения для питания анодных цепей накала всех электронных ламп. Какая-либо стабилизация по напряжению питания не предусмотрена, в этом заключается наибольший недостаток «Ионики», так как стабильность строя этого инструмента сильно зависит от колебаний напряжения сети.

Тонгенератор состоит из шести каскадов на трех лампах (ECF-82 и двух ECC-81). Первый каскад на пентодной части ECP-82 служит задающим генератором. Данные о стабильности частоты данного генератора в паспорте инструмента не приводятся, однако способ групповой подстройки и глиссандо вызывает сомнения в достаточной стабильности при изменении напряжения питания. Музыканты, эксплуатирующие «Ионику», часто жалуются на «плавание» строя.

Для настройки задающего генератора имеются два потенциометра: один для грубой настройки, другой — для точной. Введение грубой настройки позволило сделать все 12 генераторов одинаковыми по схеме и отличающимися номинальными значениями емкостей частотозадающих конденсаторов лишь в трех группах. Делители частоты представляют собой блокинг-генераторы на лампе с заземленной сеткой. Эта схема применена, очевидно, для получения достаточно малого выходного сопротивления каскада. Выходное напряжение при этом снимается с катодной нагрузки, состоящей из двух резисторов, улучшающей пилообразную форму импульсов.

Первый из блокинг-генераторов лишь преобразует синусоидальное напряжение задающего генератора в пилообразное напряжение той же частоты. Частотозадающие конденсаторы различны для разных делителей и для разных групп тонгенераторов. Синхронизированы делители путем включения синхрообмотки трансформатора последующего каскада в анодную цепь предыдущего. Для того чтобы предотвратить срыв синхронизации при изменении частоты, в каждом тонгенераторе предусмотрен регулятор синхронизации, позволяющий установить на сетках ламп блокинг-генераторов необходимое смещение.

Генератор вибрато представляет собой такой же цепочный генератор, как и задающий, но с другими номинальными значениями резисторов и конденсаторов, составляющих цепочку. У этого генератора небольшая нагрузочная способность, поэтому выходной сиг-

нал снимается с экранирующей сетки пентода. Частота вибрато регулируется резистором.

На второй половине лампы ECF-82 собран усилитель, на который поступают сигналы с контактов выборного включения. Они расположены под 12 клавишами нижней октавы клавиатуры. Такой усилитель необходим потому, что для устойчивого запуска триггера нужно выровнять амплитуду всех сигналов и улучшить фронты импульсов. Триггер собран на триоде ECF-82 и пентодной части этой же лампы, причем анодом служит экранирующая сетка, а с анода выходное напряжение прямоугольной формы подается на преобразователь спектра на диоде OA625. Этот диод совместно с дифференцирующей цепочкой преобразует напряжение в пилообразное, которое и используется в системе клавиатуры равно как и выходные напряжения тонгенератора. Оригинально решена в «Ионике» проблема аддитивного синтеза тембра и манипуляции. В ней использовано изобретение немецкого инженера Гюнтера Петцла; под каждой клавишей «Ионики» установлено пять двухэлектродных неоновых ламп, к одному из электродов которых подводится низкочастотный звуковой сигнал, а с другого этот сигнал снимается. Включение звука происходит при снятии экранирующих заслонок с баллонов ламп. При этом газоразрядный промежуток между электродами неоновой лампы ионизируется полем высокой частоты, которое создается неподвижными экранами. Так как внутреннее сопротивление неоновой лампы резко зависит от ионизации газа в ней, то поэтому от силы нажатия клавиши изменяется ток низкой частоты, протекающий через лампу. Это устройство, к сожалению, обладает большим недостатком: срок службы неоновых ламп ограничен, а замена их затруднена очень компактным монтажом.

Генератор высокой частоты, необходимый для создания ионизирующего поля, должен развивать напряжение амплитудой примерно 650—700 *в*. Он собран по трансформаторной схеме на триоде ECL-82, на пентодной части которого выполнен усилитель мощности. Частота напряжения генератора выбрана максимальной из возможных — 100 *кгц*, т. е. находится в субрадиодиапазоне, поэтому помехи радиоприему незначительны.

На вход каждого из пяти каскадов темброблока подключается шина соответствующего регистра. Семь параллельных резонансных контуров его настроены на частоты 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 500 и 3 000 *гц*. Необходимые тембры включаются подобно клавиатуре с помощью неоновых ламп и экранирующих заслонок. Так как уровень громкости каждого из тембров может регулироваться в некоторых пределах изменением ионизации ламп, разнообразие тембровых комбинаций «Ионики» достаточно велико.

Выход темброблока подключен к темброусилителю, в сеточной цепи которого также имеются фильтры. Выход этого усилительного каскада соединен с гнездом инструмента для включения педали.

Настраивают «Ионику» любым из описанных методов. При этом регулятор групповой подстройки должен обязательно находиться в среднем положении. Если при помощи выведенных на тыльную стенку потенциометров настроить один из тонов не удается, тогда нужно снять верхнюю обшивку инструмента и, вращая ось соответствующего потенциометра грубой настройки, в нужной степени повысить или понизить тон. После этого в настроенном тонгенераторе не лишне будет снова проверить надежность синхронизации



## 29. «МАТАДОР-25»

Этот электроорган выпускает фирма БЕМ (ГДР). Он отличается чрезвычайной простотой конструктивных решений и очень удобен в пользовании и ремонте. Клавиатура его содержит 60 клавишей от *фа* до *ми* включительно, а диапазон основных тонов охватывает шесть октав — от *фа* контроктавы до *ми* четвертой октавы. Весь инструмент смонтирован в деревянном корпусе, обтянутом ледерином и выполненном в виде чемодана с ручкой для переноски, замками и прочей фурнитурой. Такое оформление создает известные удобства при транспортировке электрооргана. Инструмент устанавливают на четырех металлических ножках, которые зажимаются винтами в деревянных бобышках, укрепленных на боковых плоскостях чемодана. Подставка для нот (пюпитр) выполнена из двух простых проволочных деталей, которые удерживаются в специальных втулках, расположенных на крышке инструмента. Громкость регулируют педалью, которая должна быть подключена к внешнему усилителю (вход «Звукосниматель»).

На передней панели инструмента находится 15 клавишных переключателей регистров и эффектов, а также пять ручек, которыми балансируют клавиатуру и управляют регистровым синтезом.

Весь инструмент содержит 80 транзисторов. Характерная особенность схемы «Матадора» заключается в экономичности, доведенной до такой степени, что оказалось возможным питать его от двух батареек BDT-4,5 (аналогичным КБС-Л-0,5 4,5 *в*). При напряжении 9 *в* ток потребления равен приблизительно 10 *ма*, поэтому одного комплекта батарей может хватить на 200 *ч* непрерывной работы.

Применение батарей исключает фон переменного тока и удешевляет инструмент. Однако надежность работы и эксплуатационные характеристики инструмента постоянно ухудшаются вследствие разряда батарей, а музыканту трудно определить момент необходимости смены их. Вид на монтаж инструмента показан на рис. 108.

В «Матадоре» имеется пальцевая регулировка громкости каждой клавишей. Клавиатура этого инструмента содержит регуляторы баланса басов и мелодий, позволяющие избежать искажения тембра в басах при достаточно эффектной тембровой структуре мелодии.

В «Матадоре-25» три регистра: 16′, 8′ и 4′. Так как для полного многоголосия в этих регистрах 6 октав основных тонов при пятиоктавной клавиатуре недостаточно, верхняя октава регистра 4′ повторяется дважды. С каждой клавишей инструмента связаны три контакта ползункового типа, которые при нажатии на клавишу изменяют сопротивления специальных плоских резисторов. Технология таких резисторов, очевидно, мало чем отличается от технологии изготовления подковок переменных резисторов с напыленным токопроводящим высокоомным слоем. Другие выводы этих резисторов в клавиатуре объединены шинами в соответствии с тремя регистрами. Каждая из трех сборных шин клавиатуры имеет разрывы между 24-й и 25-й клавишами, в эти разрывы включены потенциометры балансировки. Результирующее напряжение снимается с движков этих потенциометров, поэтому перемещение движка, например в одну из сторон, вызывает усиление громкости звуков на трех верхних октавах клавиатуры и ослабление ее на двух нижних.

При описании электромузыкального инструмента «Юность» было рассмотрено, что получение яркого звонкого тембра на верхней ча-

сти клавиатуры возможно путем подъема уровня верхних регистров по отношению к уровню нижних с градацией примерно 6 *дб*.

Однако для аккомпанемента такая структура синтезированного звука не подходит. Более приятными оказываются мягкие, приглушенные тембры, когда уровни нижних регистров преобладают. Три регулятора баланса в «Матадоре-25» как раз и позволяют достичь такого тембра басов, при этом примечательно то, что чем ярче становится данный регистр в мелодии, тем меньше его уровень в басах, и наоборот.

Звуковой генератор «Матадора-25» по своей структуре очень напоминает «Ионику» — в качестве делителей частоты здесь и там применены блокинг-генераторы, но в «Матадоре-25» на транзисторах

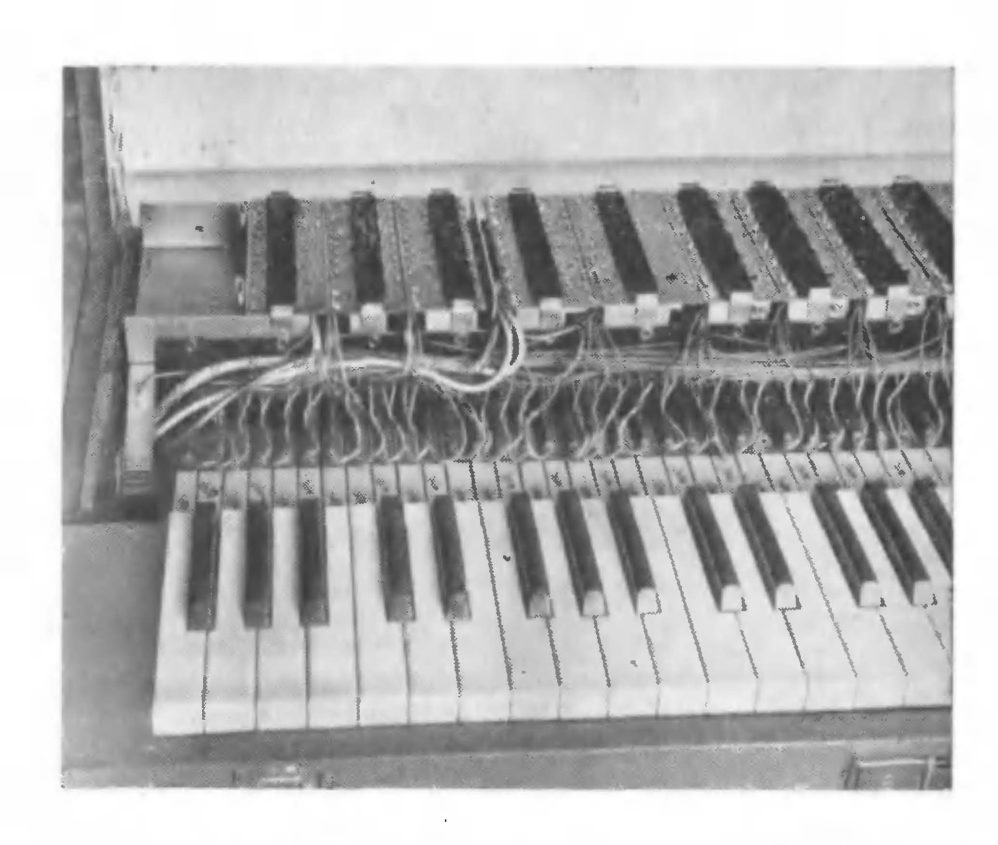


Рис. 108. «Матадор-25». Вид на монтаж инструмента.

с общей базой. Задающий генератор представляет собой также блокинг-генератор, однако частота его колебаний стабилизирована контуром в цепи эмиттера. Перемещением сердечника катушки контура производят грубую настройку частоты генератора, а точно настраивают переменным резистором. В каждом из блокинг-генераторов установлен еще один переменный резистор, которым каждый из делителей частоты вводят в режим синхронизации.

На отдельной плате собраны 12 дополнительных блокинг-генераторов, обслуживающих самую нижнюю октаву регистра 16′.

Установленный на инструменте крайний справа выключатель служит для включения электрооргана, при этом соединение этого выключателя с батареями питания происходит только при включении в гнездо четырехконтактного штекера педали, что предохраняет инструмент от случайного включения при транспортировке.



С регуляторов баланса клавиатуры звуковые напряжения регистров 16′, 8′ и 4′ поступают каждое на отдельный предварительный усилитель, откуда через переходные конденсаторы подаются на темброблок. Темброблок состоит из двух плат — платы фильтров и платы эффекта. На плату фильтров напряжения регистров 16′ и 8′ проходят через регуляторы (резисторные), которые на инструменте расположены слева, после трех ручек баланса. Эти регуляторы соединены между собой так, что напряжения регистров 16′ и 8′ смешиваются между собой, поэтому ручками этих регуляторов изменяется не только уровень регистров, но и их тембровая характерность.

Каждый из регистров инструмента содержит по три тембра, оформляемых фильтрами. Эти тембры вводятся девятью переключа-

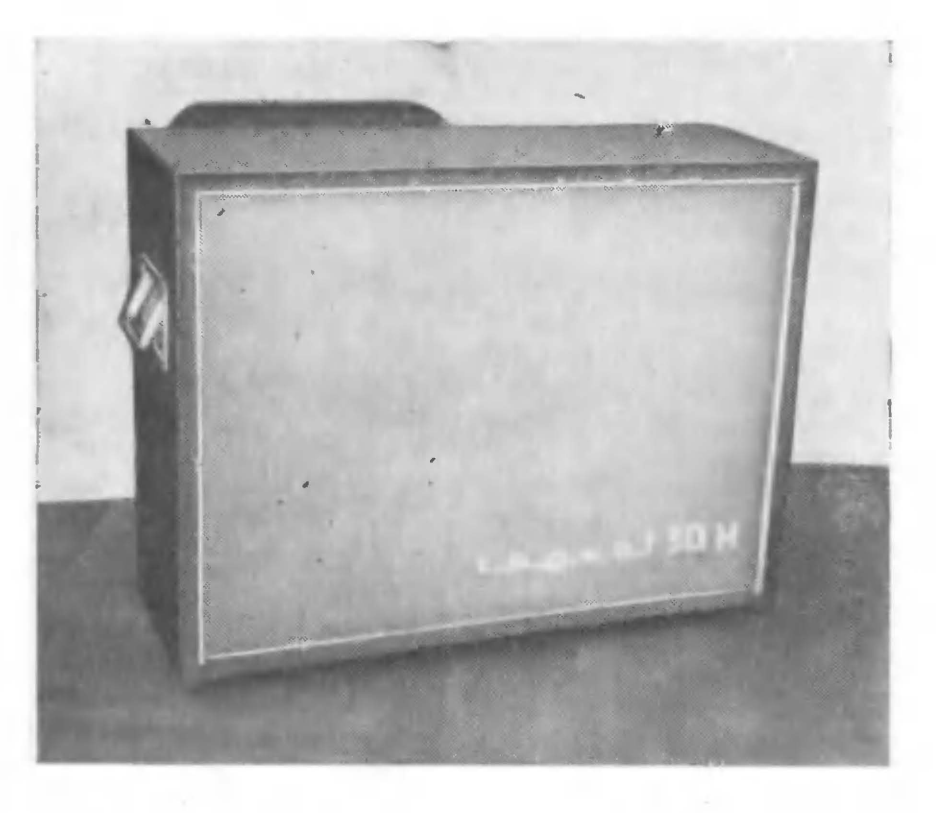


Рис. 109. Усилитель «Регент-30».

телями, которые содержат переменные резисторы, поэтому уровень каждого тембра может быть произвольно нормирован исполнителем. Регистр 16′ имеет следующие имитационные тембры: фагот, бас, кларнет и виолончель. Последний тембр получается благодаря добавлению формантного призвука из регистра 8′. В регистре 8′ может быть включена труба гобой или виола. В регистре 4′ имеется возможность включения тембров флейты, свирели и скрипки.

Основной регистр инструмента — «тутти»; он получается благодаря смешиванию всех чистых регистров. Напряжения регистров 16′ и 8′ фильтруются конденсаторами, зато высшие обертоны регистра 4′ подчеркнуты благодаря дифференцирующей *RC*-цепочке. Эффект струнных инструментов достигается благодаря свободному прохождению высших гармоник.

Для подъема уровня звукового напряжения, ослабленного темброблоком, служит двухкаскадный усилитель на транзисторах, к выходу которого подключают педаль.

Инструменты типа «Матадор» комплектуются усилителями низкой частоты «Регент-15», «Регент-30» или «Регент-60», отличающимися друг от друга выходной мощностью. Первые два типа конструктивно оформлены в виде переносного акустического агрегата, внутри которого вмонтированы усилитель и блок питания (рис. 109). «Регент-60», имеющий номинальную выходную мощность 40 *вт*, выполнен в виде трех блоков — усилителя и двух акустических агрегатов.

Усилители «Регент-15», имеющий выходную мощность 12,5 *вт*, и «Регент-30» мощностью 25 *вт* имеют одинаковые схемы и различаются лишь типом ламп в выходном каскаде, параметрами выходного трансформатора и схемой блока питания. Усилитель имеет микшерное устройство на три входа чувствительностью 30—40 *мв*. Такая чувствительность достаточна для нормальной работы усилителя с электрогитарами или электронными музыкальными инструментами.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Бабуркин В. Н. и др., Электроакустика и радиовещание, Акустические вопросы вещания, изд-во «Связь», 1967.
2. Вайсман Е., Электролина, «Радио», 1964, 8.
3. Вингрис Л. Т., Скрин Ю. А., Любительские конструкции многоголосных электромузыкальных инструментов, изд-во «Энергия», 1964.
4. Володин А., Спектры колебаний для электромузыкальных инструментов, «Радио», 1964, 12.
5. Володин А., Частотные характеристики электромузыкальных инструментов, «Радио», 1966, 11, 12.
6. Волошин В., Федорчук Л., Электромузыкальный инструмент «Эстрадин», «Радио», 1965, 2.
7. Волошин В., Федорчук Л., «Романтика» — новый электромузыкальный инструмент, «Радио», 1965, 11.
8. Волошин В., Федорчук Л., Сасага Б., Электроорган, «Радио», 1967, 12.
9. Гинкин Г. Г., Справочник по радиотехнике, Госэнергоиздат, 1948.
10. Грундштейн К., Многоголосный электромузыкальный инструмент, «Радио», 1965, 2.
11. Dartevelle Ch., L'Orgue de salon transistorise, Toute l'Electronique, 1964, 289, 290.
12. Dorf, Richard H., Electronic musical instruments, N. Y., 1954.
13. Dorf Richard H., Organ for one finger artists, Audio Engng, 1953, 37, 9.
14. Douglas, Alan, The electronic musical instrument manual, A Guide to Theory and Design, N. Y., 1962.
15. Douglas, Alan, The electronic musical instrument manual, A Guide to Theory and Design, N. Y., 1962.
16. Дуглас А., Новые электронные музыкальные инструменты в Германии, пер. с англ., ЦБНТИ, 1959.
17. Дьяконов Н. А., Рояли и пианино. «Лесная промышленность», 1954.
18. Иванков Ю., Многоголосный электромузыкальный инструмент, «Радио», 1966, 1, 2.
19. Иванов А. А., Советский электрический музыкальный инструмент «Эмиритон» (мелодин), стенограмма публичной лекции, «Знание», 1953.
20. Корсунский С. Г., Симонов И. Д., Электромузыкальные инструменты, Госэнергоиздат, 1957.
21. Корсунский С. Г., Разработка электронного органа с гармоническим синтезом, в кн. «Труды Всесоюзного научно-исследовательского института звукозаписи», вып. 8, 1961.
22. Лаборатория музыкальной акустики, к 100-летию Московской государственной консерватории им. П. И. Чайковского, изд-во «Музыка», 1966.
23. Lejsche J., Einfuhrung in die Technik der elektronischen Musikinstrumente, Funkamateur, 1966, 1, 2.
24. Прохоров Е. А., Адаптеризация музыкальных инструментов, изд-во «Энергия», 1966.
25. Симонов И. Д., Новое в электромузыкальных инструментах, изд-во «Энергия», 1966.
26. Симонов И. Д., Шумовой электромузыкальный инструмент «Шумофон», в кн. «Труды Всесоюзного научно-исследовательского института звукозаписи», вып. 8, 1961.
27. Симонов И. Д., Корсунский С. Г., Электронный гармониум, в кн. «Труды института» вып. 1, 1957 (Всесоюзный научно-исследовательский институт звукозаписи).
28. Симонов И., Шиванов А., Терменвокс, «Радио», 1964, 10.
29. Симонов И., Шиванов А., Транзисторные генераторы для многоголосных электромузыкальных инструментов, «Радио», 1965, 9.
30. Скучик Е., Основы акустики, т. 2, изд-во «Иностранная литература», 1959.
31. Соломин В. К., Конструирование электромузыкальных инструментов, «Госэнергоиздат», 1958.
32. Спицын А., Степанянц А., Электромузыкальный инструмент, «Радио», 1963, 3.
33. Симонов И. Д., Корсунский С. Г., Аппарат позывных сигналов, в кн. «Труды института» вып. 2, 1957 (Всесоюзный научно-исследовательский институт звукозаписи).
34. Термен Л. С., Физика и музыкальное искусство, изд-во «Знание», 1966.

## Краткие данные электромузыкальных инструментов, эксплуатируемых в СССР

| Наименование инструмента и изготовитель | Клавиатура, октав | Диапазон основных тонов, октав | Настройка не хуже, *цент* | Вибрато | Тембры | Регистры | Эффекты | Регулирование громкости | Напряжение питания, *в* | Вес, *кГ* | Размеры, *мм* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| „Экводин В-11" СССР* | 3,33 | 7,33 | ±3 | Автоматическое и пальцевое | 660 комбинаций | — | — | — | ~127/220 | 39 | 780×820×380 |
| „Эстрадин-3"** (Романтика) СССР | 3 | 7 ($до_к$—$си_4$) | ±1,5 | Автоматическое, частотное, тремоло | — | 3 формантных тембра 16′, 8 тембров 8′, 4 тембра 4′, 2 тембра 2′, 1 тембр 1′ | — | Педальное | ~127/220, =12 | 21 | 480×680×150 |
| „Рэтаккорд"*** СССР | Верхняя—3, нижняя—5 | 6 ($фа_м$—$ми_4$) | — | Частотное и амплитудное | — | 3 формантных тембра 8′, 4 тембра 4′, 3 тембра 2′ | — | Ручное и педальное | ~220 | 50 | 900×700×200 |
| „Эстрадин-6"*** СССР (Меридиан) | Соло—3,6, аккомпанемент—2,3 | 7 ($до_к$—$си_4$) | — | Частотное | — | Соло—8′, 4′, $2\frac{2'}{3}$, 2′, $1\frac{3'}{5}$, 1′; аккомпанемент 16′, 8′, 4′, 2′ | — | Педальное | ~127/220, =12 | 26 | 120×510×170 |
| „Юность"*** СССР | 5 | 6 ($до_б$—$си_4$) | — | Частотное | — | 16′, 8′, 4′, 2′, тонкоррекция | — | Педальное | ~127/220, =12 | — | — |
| „Эстрадин-3М"*** (Гамма) СССР | 3,3 | 5 ($до_б$—$ми_4$) | — | Частотное | — | 5 формантных тембров 8′, 3 тембра 4′, 2 тембра 2′ | — | Ручное и педальное | ~127/220, =12 | 21 | 620×300×200 |
| „Эстрадин-7"*** (Камертон) | 6 | 7 ($до_к$—$си_4$) | — | Частотное | — | 5 формантных тембров 16′, 3 тембра 8′, 2 тембра 4′ | Струнные, тутти, тремоло, цимбалы, вибрафон, реверберация | Ручное и педальное (бесконтактное) | ~127/220 | 50 | 1 000×800×440 |
| „Хэммонд М-100"*** США | Две по 44 клавиши, педальная 13 нот | — | — | Фазовое, унисонное | 24 переключателя | — | Реверберация, челеста | Ручное и педальное | — | 86 | 1 100×1 1000×580 |
| „Ионика"*** ГДР | 3,3 | 6 ($фа_б$—$ми_4$) | ±0,5 тона | Частотное | — | 4 формантных тембра 16′, 4 тембра 8′, 4 тембра 4′, 4 тембра 2′, 2 тембра $2\frac{2'}{3}$ | Глиссандо | Педальное | ~127/220 | — | — |
| „Ионика-6"*** ГДР | 2 по 48 клавишей | 5 многоголосных, 1 одноголосная ($фа_к$—$ми_6$) | — | — | — | Верхней клавиатуры—по 3 формантных тембра 8′ и 4′; нижней клавиатуры—2 формантных тембра 16′ и 3—8′ | Струнные, тутти, тремоло | — | =9 | 47 | 1 130×530×2[illegible]0 |
| „Матадор-25"*** ГДР | 5 | 6 ($фа_к$—$ми_4$) | — | Частотное | — | По 3 формантных тембра 16′, 8′, 4′ | Струнные, тутти | — | =9 | 29 | 1 080×420×180 |

* —Одноголосный
** —Многоголосный

## ОГЛАВЛЕНИЕ

*Виталий Иванович Волошин*
*Леонид Иванович Федорчук*

**ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ**

Редактор Цыганова Л. В.
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор В. В. Зеркаленкова
Корректор И. Д. Папина

Сдано в набор 19/XI 1970 г. Подписано к печати 13/V 1971 г.
Т-06271 Формат 84×108[1]/[32] Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 7,56 Уч.-изд. л. 9,84
Тираж 35 000 экз. Цена 40 коп. Зак. 4

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.